

CAMINHOS DO AGRO

Tecnologias que
transformam
o campo

2024

CropLife
BRASIL 



CAMINHOS DO AGRO

Tecnologias que
transformam
o campo

2024



Abertura

A REVOLUÇÃO agrícola das últimas décadas transformou profundamente o agronegócio brasileiro. De importador de alimentos, o país emergiu como uma potência exportadora de commodities, desempenhando um papel estratégico na segurança alimentar global. Esse movimento promoveu o desenvolvimento do interior, viabilizou o uso de solos antes considerados inadequados para a agricultura em larga escala e fomentou uma cultura de inovação e empreendedorismo no meio rural.

Agora, uma nova revolução está em curso: a da sustentabilidade no campo. Todo o caminho trilhado até aqui preparou os produtores rurais brasileiros para liderarem, nas próximas décadas, a formulação e adoção de modelos de produção responsável, capazes de atender à crescente demanda por alimentos, fibras e energia, produzidos sob critérios socioambientais cada vez mais exigentes.

Consolidar essa sustentabilidade, contudo, exige mais do que ações pontuais. É necessário fortalecer um ecossistema de inovação agrícola coeso, que envolva sociedade civil, governos, organizações de produtores, academia e indústria. Juntos, podemos criar um ambiente que vai além do uso de tecnologias, integrando

práticas e soluções em um movimento coordenado rumo a um futuro sustentável.

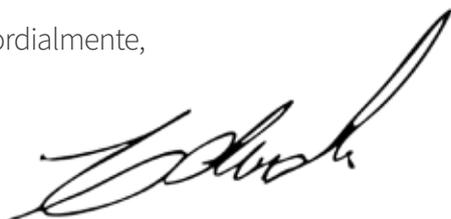
O desafio de alimentar uma população global crescente e fornecer energia limpa e renovável ao Brasil e ao mundo, enquanto se reduz as emissões de gases de efeito estufa, economiza recursos naturais e preserva a biodiversidade, é complexo. Contudo, muitas das soluções já estão ao nosso alcance. Entre elas, destacam-se a intensificação de sistemas agropecuários de baixo carbono, a restauração de áreas degradadas, o uso de culturas adaptadas às mudanças climáticas, a aplicação eficiente de insumos e a adoção da agricultura de precisão para monitoramento e decisões mais assertivas. Essas práticas não apenas aumentam a produtividade, mas também elevam a resiliência dos sistemas produtivos diante das incertezas climáticas e das crescentes demandas globais por sustentabilidade.

Essa transformação, no entanto, só é possível com investimentos robustos em ciência, pesquisa e desenvolvimento (P&D) de soluções tecnológicas. Inovações em genética e proteção de cultivos são pilares fundamentais para enfrentar os desafios climáticos e garantir a competitividade do agronegócio brasileiro.

Trata-se de uma combinação de múltiplas soluções tecnológicas, que envolvem o melhoramento genético, a biotecnologia e as diferentes formas de proteção às plantas, sejam elas químicas ou biológicas, que se complementam no campo, buscando o melhor de cada uma delas. Ao observar o que já foi realizado no passado recente e o que desponta nas frentes de P&D da agroindústria, temos motivos sólidos para acreditar em um futuro promissor.

Que esta publicação inspire uma reflexão sobre os desafios e oportunidades da inovação em genética e proteção de cultivos, permitindo vislumbrar um futuro em que o agronegócio brasileiro transcenda seu papel de alimentar o mundo, afirmando-se como uma referência global em produção sustentável e excelência em inovação tecnológica.

Cordialmente,



EDUARDO LEÃO

Diretor-presidente da CropLife Brasil



Sumário

CAP. 1

Inovação agrícola

- 08 O agronegócio brasileiro e os desafios frente às mudanças climáticas

Leila Vieira

CAP. 2

Melhoramento genético

- 46 Estratégia essencial para a produtividade agrícola que o mundo precisa

Adriana Brondani e Alexandre Gazola Neto

CAP. 3

Biotecnologia agrícola

- 76 Inovação para resiliência climática e sustentabilidade no campo

Adriana Brondani

CAP. 4

Defensivos químicos

- 109 Soluções para a proteção de cultivos e oferta de alimentos

Túlio Veríssimo

CAP. 5

Bioinsumos

- 145 Inovações sustentáveis inspiradas na natureza

Paulo Camargo

- 172 **Referências bibliográficas**



Cap. 1

INOVAÇÃO AGRÍCOLA

O agronegócio
brasileiro e os
desafios frente
às mudanças
climáticas

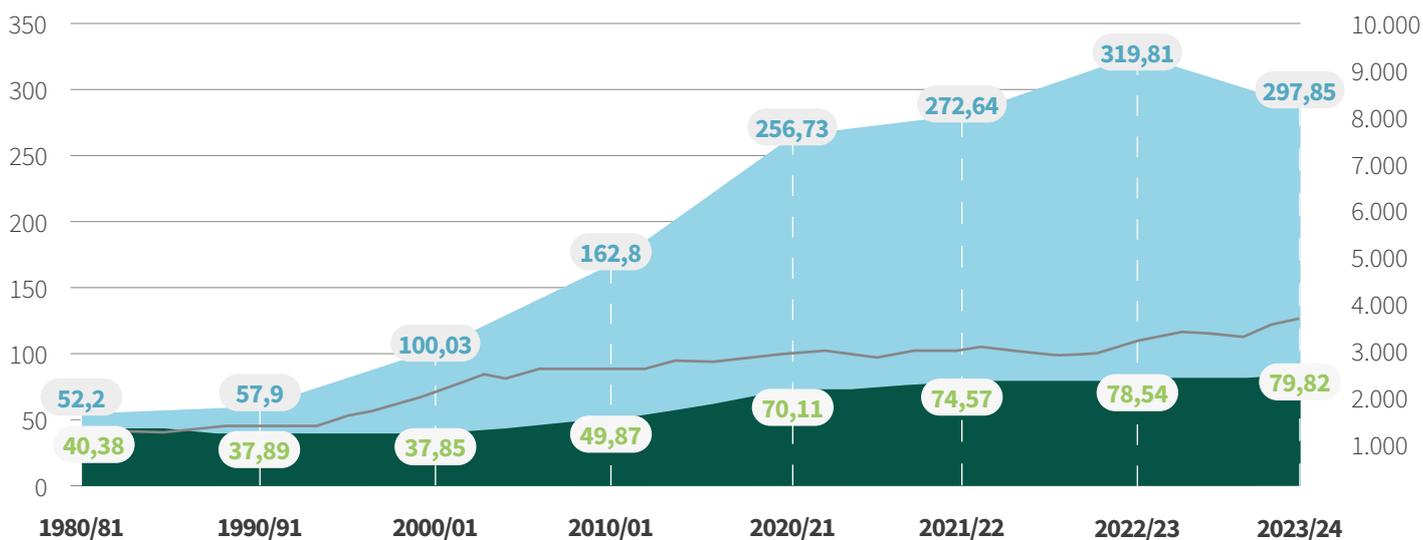
A transformação do Brasil: de importador a um dos maiores exportadores AGROPECUÁRIOS do mundo

EM APENAS meio século, o cenário da agropecuária brasileira vivenciou uma profunda transformação. Na década de 70, as lavouras e a pecuária apresentavam baixa produtividade, resultando em produção aquém das demandas do mercado interno. Era recorrente a necessidade de importar alimentos básicos.

Desde então, o crescimento da produção tem sido significativo. A produção de grãos aumentou quase seis vezes, impulsionada por ganhos de produtividade, estimados em 188% no período.

Evolução da produção de grãos e área de cultivo

Fonte: CONAB, 2024



**470%
PRODUÇÃO**
(em milhões de ton)



**188%
PRODUTIVIDADE**
(em quilos por ha)



**97%
ÁREA**
(em milhões de ha)

Hoje, o Brasil é autossuficiente na oferta interna de alimentos e tem um papel de grande relevância na oferta mundial de produtos oriundos da agropecuária.

As exportações do agronegócio brasileiro totalizaram US\$ 166,5 bilhões em 2023, representando 49% do total das exportações nacionais e assegurando significativos superávits na balança comercial do país.

Ranking dos maiores exportadores de produtos AGROPECUÁRIOS (%)

Fonte: Trade Map, Agroconsult, 2023

RANK	PAÍS	PART. (%)
1º	EUA	10,4%
2º	Brasil	6,9%
3º	Países Baixos	6,0%
4º	França	5,4%
5º	Alemanha	5,1%
6º	China	4,4%
7º	Espanha	3,5%
8º	Itália	3,4%
9º	Canadá	3,4%
10º	Bélgica	2,9%
11º	Austrália	2,6%
12º	Indonésia	2,6%
13º	Polônia	2,5%
14º	Tailândia	2,1%
Demais países		38,6%

Em 2022, o Brasil ocupou o 2º lugar no *ranking* de países exportadores de produtos agrícolas, respondendo por 6,9% do total, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, que participou com 10,4% do total das exportações. No mesmo ano, o Brasil ocupou o 1º lugar no *ranking* mundial que considera as exportações líquidas desses produtos (exportações menos importações), com um saldo de US\$ 126 bilhões, 3,5 vezes maior que o valor observado do segundo colocado, os Países Baixos.

O Brasil lidera tanto a produção quanto a exportação mundial de soja, açúcar, café e suco de laranja e ocupa posições de destaque nos mercados de milho, açúcar, algodão, celulose e carnes.



Participação do Brasil no mercado mundial de produtos AGROPECUÁRIOS

Fonte: USDA, I bá, EPE, Agroconsult, 2023

PRODUTO	INDICADORES	PROD.	EXPORT.
 Soja (mi ton)	Mundo	370	169
	Brasil	156	94
	Ranking	1º	1º
	Participação	42%	56%

PRODUTO	INDICADORES	PROD.	EXPORT.
 Café (mi sacas 60kg)	Mundo	170	140
	Brasil	63	37
	Ranking	1º	1º
	Participação	37%	26%

 Milho (mi ton)	Mundo	1.151	177
	Brasil	133	56
	Ranking	3º	1º
	Participação	12%	32%

 Celulose (mi ton)	Mundo	187,5	238,7
	Brasil	22,5	19,8
	Ranking	2º	3º
	Participação	12%	8%

 Açúcar (mi ton)	Mundo	177	66
	Brasil	38	28
	Ranking	1º	1º
	Participação	21%	43%

 Suco de laranja (mi ton)	Mundo	1,6	1,4
	Brasil	1,1	1,0
	Ranking	1º	1º
	Participação	72%	76%

 Algodão (mi fardos 480lb)	Mundo	118	38
	Brasil	14	7
	Ranking	4º	3º
	Participação	12%	17%

 Carne bovina (mi ton)	Mundo	59,3	12,0
	Brasil	10,4	2,9
	Ranking	2º	1º
	Participação	17%	24%



Além da grande expressão mundial na produção de alimentos, fibras e energia, o Brasil é reconhecido por sua megabiodiversidade.

O país abriga a maior área de florestas tropicais, com a flora mais exuberante do planeta e uma fauna igualmente rica.

Essa biodiversidade se distribui em seis biomas continentais, diversos ecossistemas costeiros e marinhos e no maior sistema fluvial do globo. Apenas dezessete países são considerados megadiversos e reúnem 70% da biodiversidade mundial. O Brasil ocupa o primeiro lugar na lista, abrigando entre 15% e 20% de toda a biodiversidade mundial, o maior número de espécies endêmicas e a maior floresta tropical, a Amazônia. ■

Essas duas posições de liderança — na produção agropecuária tropical e na biodiversidade — conferem ao Brasil uma grande responsabilidade em liderar a transição dos sistemas de produção rumo a uma sustentabilidade cada vez maior.

A transformação agrícola do Brasil foi apoiada por inovação e tecnologia

O esforço para superar o déficit de produção de alimentos que prevalecia no Brasil há cinco décadas se baseou na remoção dos obstáculos ao crescimento do setor agrícola.

NAQUELE PERÍODO, a estratégia adotada incluiu o investimento na geração de novas tecnologias, a qualificação de capital humano e a mobilização de recursos financeiros para apoiar o desenvolvimento agrícola.

O estímulo à inovação na agricultura brasileira foi impulsionado, em grande parte, pela forte atuação do setor público no fomento à pesquisa agrícola. Investimentos substanciais foram direcionados à capacitação dos recursos humanos, com o objetivo de gerar conhecimento e soluções capazes de superar as barreiras que limitavam a expansão da produção nas condições específicas do país. Essas políticas visavam encontrar novas fronteiras agrícolas e também enfrentar as restrições de produtividade observadas em áreas agrícolas já desenvolvidas, mas que ainda apresentavam baixo desempenho.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, criada em 1974, teve a missão de elaborar políticas de pesquisa em âmbito nacional, definindo diretrizes para o sistema que envolvia centros de pesquisa e universidades em todo o país.

A Instituição, que recebeu a maior parte dos recursos, tanto governamentais como de Instituições internacionais, enviou um número expressivo de pesquisadores para cursos de pós-graduação no Brasil e no exterior.

Com o sistema de pesquisa apto a gerar novas tecnologias, era necessário criar condições que permitissem sua adoção.

Nesse sentido, foi estruturado o Sistema Nacional de Crédito Rural, com a missão de mobilizar recursos financeiros a um custo mais acessível ao produtor e, elaborado o sistema de difusão de tecnologia, liderado pela Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural – Embrater. A Embrater, criada

em 1975, tinha a atribuição de levar os avanços da pesquisa ao conhecimento do produtor e orientar sua efetiva adoção no campo, coordenando o sistema nacional de assistência técnica e extensão rural composto de 26 organizações estaduais.

Contudo, os esforços do setor público na criação de um sistema robusto de pesquisa, crédito e extensão, somados à abundância de recursos naturais, embora fundamentais, não explicam totalmente o salto observado na produção agrícola brasileira.

É imprescindível reconhecer a disposição e a abertura dos produtores rurais em adotar novas tecnologias. Outro fator bastante importante no direcionamento ao aumento da produção nas últimas décadas foi a existência de cadeias de valor bem-organizadas, que proporcionaram uma ligação eficiente entre produtores e mercados.

Dentre outros, essas cadeias contavam com a força das cooperativas no Sul do país, contratos de produção envolvendo a agricultura familiar nos setores de suínos e aves, e a integração vertical nas indústrias sucroalcooleira e citrícola.

Pode-se resumir o período de 1960 a 1990 como o de maior expansão da fronteira

agrícola do Brasil, especialmente pela ocupação do Cerrado brasileiro. O crescimento se baseou na intensificação da mecanização agrícola e utilização de pacotes tecnológicos caracterizados por preparo de solo e utilização de insumos sintéticos, tais como calcário, fertilizantes solúveis (NPK) e defensivos químicos. Do ponto de vista científico e tecnológico, nessa primeira fase, a ênfase estava em desenvolver e adaptar cultivares às condições de solo e clima presentes nas diferentes partes do território nacional, promovendo ajustes nas doses da adubação para os diversos cultivos e no manejo de pragas com o emprego de defensivos químicos. A pesquisa apresentava uma visão monodisciplinar e de caráter adaptativo que, quando validada, era difundida pelo sistema de assistência técnica e extensão rural.

O modelo que teve sucesso ao ampliar significativamente a produção de alimentos revelou, contudo, algumas limitações que viriam a ser revistas e minimizadas à luz de novas pesquisas. O preparo intensivo do solo e a utilização maciça de fertilizantes químicos, por exemplo, foram práticas que, por seus impactos, levariam a abertura de duas frentes principais de pesquisas extremamente importantes até hoje: a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em leguminosas e gramíneas, com destaque para a cultura da soja, e a introdução, desenvolvimento e consolidação do sistema de plantio direto, especialmente no final dos anos 80 e década de 90.



Boas práticas agrícolas: um pilar essencial à adoção das tecnologias e avanço da sustentabilidade

As crises fiscais dos anos 80, bem como a abertura comercial, a estabilização monetária nos anos 90 e as reformas que se seguiram, enfraqueceram as políticas públicas e criaram condições que favoreceram a expansão da participação privada nas transformações do cenário agrícola brasileiro.

A **REDUÇÃO** da oferta de crédito oficial estimulou a busca por alternativas de financiamento, levando à criação da Cédula de Produto Rural – CPR, em 1994, instrumento que viria a facilitar a participação de tradings e empresas de insumos no suprimento de recursos para custeio.

Além disso, com o enfraquecimento do sistema público, grande parte da responsabilidade quanto à difusão de informações, tecnologias

e assistência técnica aos produtores rurais foi absorvida por cooperativas, revendas de insumos e processadores de alimentos.

Diante desse movimento, a agroindústria passou a desenvolver diversas iniciativas internas e setoriais para promover uma orientação eficaz sobre o uso de boas práticas agrícolas no emprego das diversas tecnologias disponíveis no mercado.

A ênfase no uso racional de insumos agroquímicos e a preocupação em oferecer as melhores ferramentas de controle, preservando a longevidade dos ativos e das biotecnologias, têm contribuído significativamente para o desenvolvimento e a adoção do manejo integrado de pragas (MIP) e para o avanço de agentes biológicos de controle. ■



O marco legal essencial à inovação: a garantia da propriedade intelectual

Uma das mais importantes mudanças dos anos 90 foi a evolução do tratamento dispensado à proteção intelectual no Brasil.

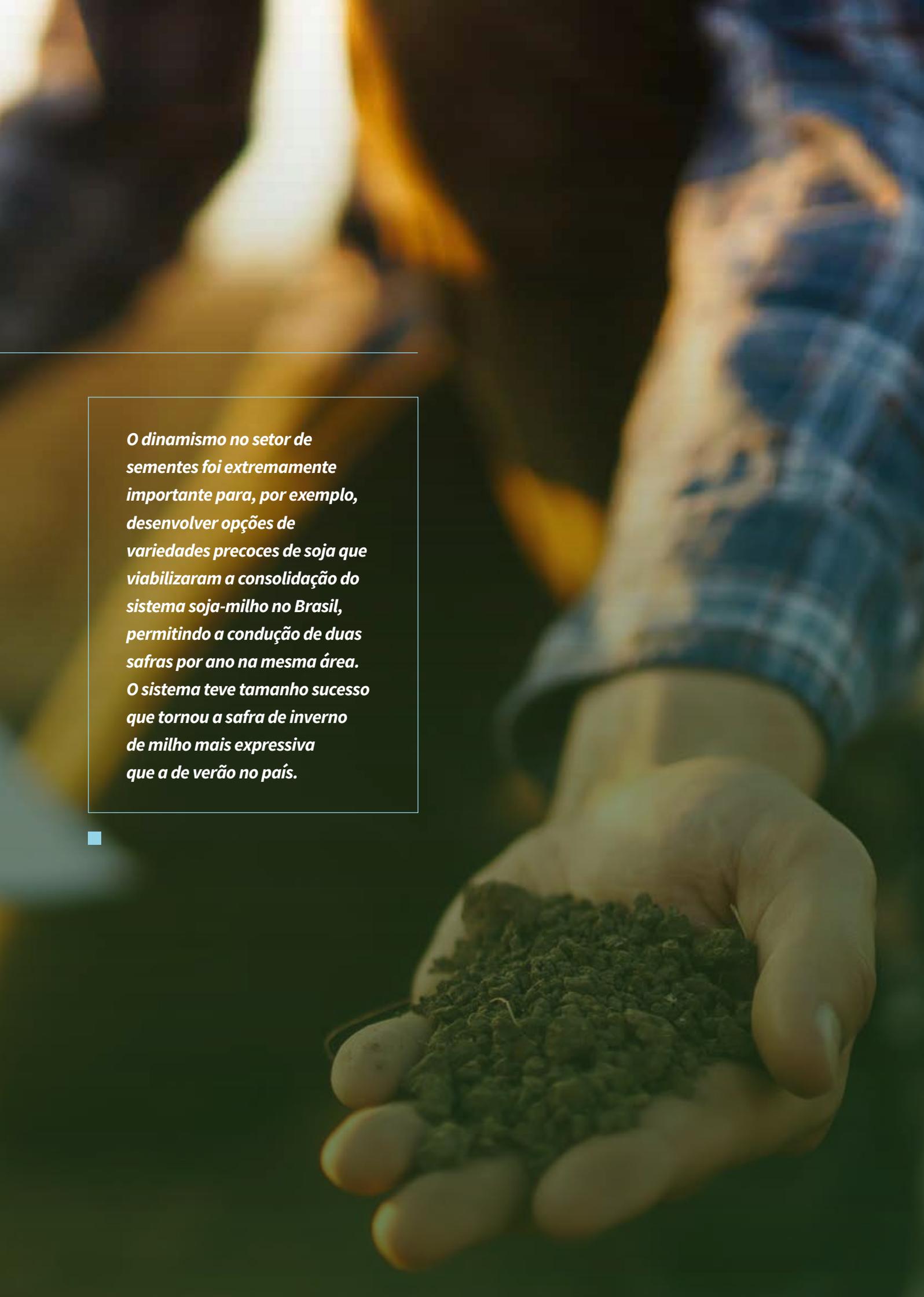
A PARTIR da assinatura do Acordo sobre os aspectos de direitos de propriedade intelectual relacionados ao comércio – *Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights* (TRIPS), foi necessária a incorporação de princípios e diretrizes desse Acordo ao marco legal brasileiro. Como consequência, foram aprovadas diversas leis como a Lei de Propriedade Industrial (Lei nº 9.279/1996), a Lei de Proteção de Cultivares (Lei nº 9.456/1997), a Lei de Direitos Autorais (Lei nº 9.610/1998) e a Lei do Software (Lei nº 9.609/1998), entre 1996 e 1998. Na década seguinte, foram aprovadas a Lei dos Circuitos Integrados (Lei nº 11.484/2007) e a Convenção sobre a Diversidade Biológica – CDB (Lei nº 13.123/2015), todas dispendo sobre as diversas modalidades de direito de propriedade intelectual.

Para o setor agrícola, as leis de maior impacto foram as relacionadas às sementes e mudas.

A Lei de Propriedade Industrial e a Lei de Proteção de Cultivares – LPC introduziram incentivos que vieram a dinamizar novos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Com melhores condições institucionais, as empresas privadas ampliaram os investimentos no desenvolvimento de novas cultivares, possibilitando oferta mais adequada às necessidades dos produtores.

Para se ter uma ideia, em 1998 havia apenas 14 empresas que ofertavam cultivares de soja no Brasil, das quais cinco eram públicas e nove privadas. Em 2012, o número de empresas mantenedoras de cultivares de soja convencional já alcançava 33, sendo sete públicas e 26 privadas. Nesse período, o número de pedidos de proteção registrados no Sistema Nacional de Proteção de Cultivares – SNPC praticamente triplicou.



O dinamismo no setor de sementes foi extremamente importante para, por exemplo, desenvolver opções de variedades precoces de soja que viabilizaram a consolidação do sistema soja-milho no Brasil, permitindo a condução de duas safras por ano na mesma área. O sistema teve tamanho sucesso que tornou a safra de inverno de milho mais expressiva que a de verão no país.



O meio ambiente e as questões climáticas vêm pautando as tendências da inovação no agro

ALÉM DAS mudanças no cenário econômico interno, importantes transformações ocorreram na sociedade, especialmente a partir da década de 90.

O meio ambiente, as mudanças climáticas e as questões sociais ganharam espaço na agenda global e passaram a influenciar todas as atividades econômicas.

O primeiro grande passo nessa direção, se concretizou com a assinatura da Convenção de Clima (UNFCCC no original em inglês – *United Nations Framework Convention on Climate Change*), que ocorreu na Eco-92 do Rio de Janeiro e entrou em vigor em 1994. Na ocasião foram estabelecidos os alicerces de novas negociações envolvendo os signatários desse acordo, nas Conferências das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, as COPs, que possibilitaram importantes compromissos de redução de emissões. Vale um destaque para a 21ª Conferência das Partes (COP21),

em Paris, que trouxe avanços importantes, em especial na forma de um acordo para fortalecer a resposta global às mudanças climáticas e reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças. Como decorrência, os governos de países signatários se envolveram na definição de seus próprios compromissos de redução de emissões dos gases de efeito estufa (GEE).

Em 2015, os 193 Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) assinaram o documento “Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, comprometendo-se a adotar medidas transformadoras para promover o desenvolvimento sustentável com metas para os 15 anos seguintes (2016-2030).

A Agenda 2030 foi criada como um plano de ação, com o objetivo de fortalecer a paz universal. O plano estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas.

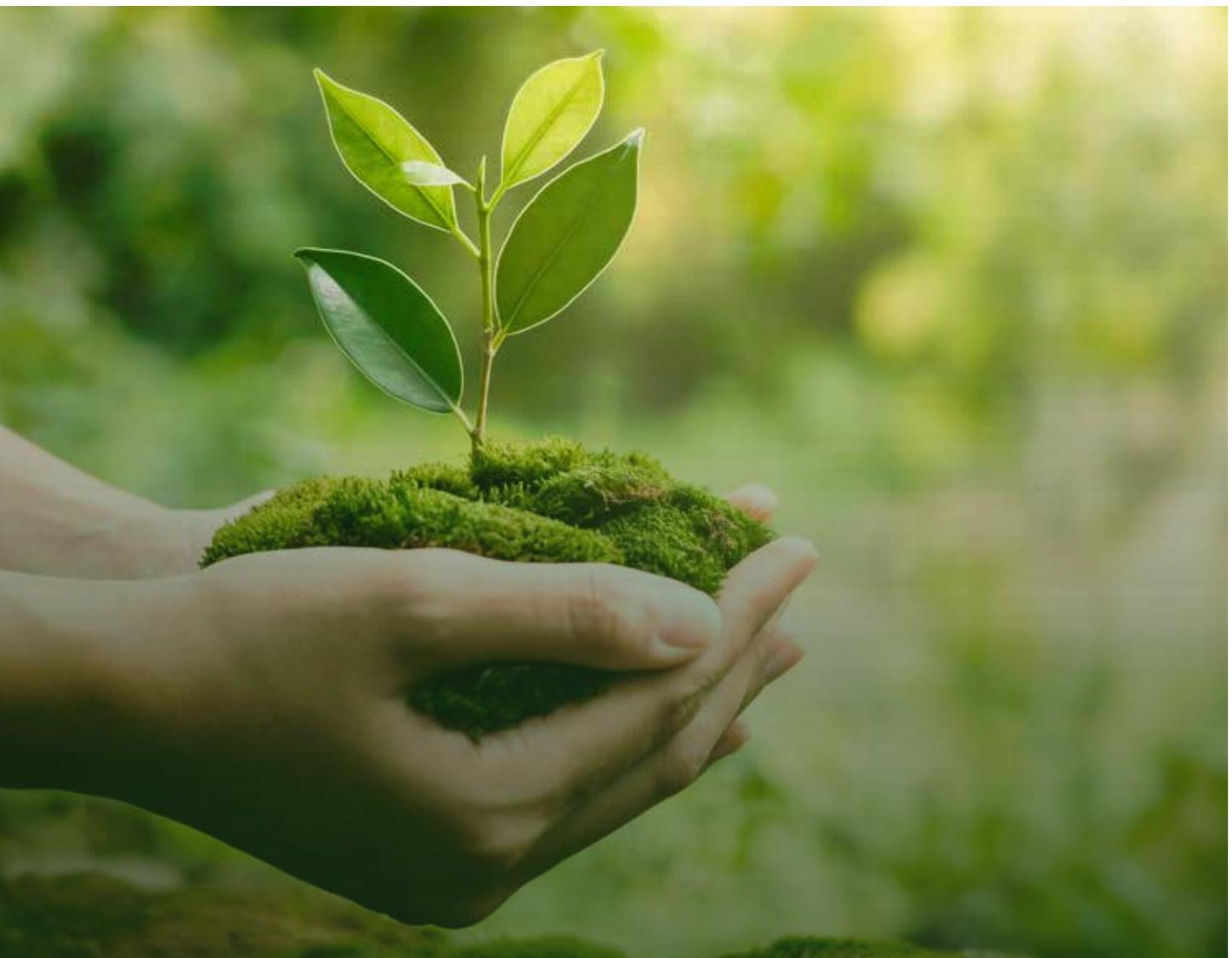
ODS relacionados à AGROPECUÁRIA

Fonte: Adaptado de FAO, 2024



Do total das 17 ODS, por exemplo, 10 dialogam intimamente com os sistemas agrícolas. O ODS 2, de Fome Zero, que pode ser impactado por meio do aumento na produção agrícola; o ODS 6, de Água Potável e Saneamento, que remete ao uso sustentável de água nas atividades de irrigação e na agricultura de forma geral; o ODS 8, de Trabalho Decente e Crescimento Econômico, que poderia envolver a promoção de ações de melhoria das condições dos pequenos produtores rurais, agricultores familiares e ampliação do acesso à informação; o ODS 9, de Indústria, Inovação e Infraestrutura, que envolve aperfeiçoamento das cadeias produtivas; o ODS 11, de Cidades e Comunidades Sustentáveis, remete à maior integração entre campo

e cidade; o ODS 12, de Consumo e Produção Responsáveis, alcançado pelo controle de perdas de safras e desperdícios de alimentos; o ODS 13, de Ação Contra a Mudança Global do Clima, pode ser verificado no emprego de ações de mitigação dos riscos das mudanças climáticas e pela redução de emissão de GEE nas atividades da agropecuária; o ODS 14, de Vida na Água, é apoiado por meio do aperfeiçoamento da produção aquícola; o ODS 15, de Vida Terrestre, pode ser monitorado pelo mapeamento do uso de cobertura da terra e pela produção agrícola sustentável; e, por fim, o ODS 17, de Parcerias e Meios de Implementação, suportado pelo maior compartilhamento de informações entre parceiros agrícolas. ■



O Brasil tem um papel crucial a desempenhar na conservação da biodiversidade para o planeta

A diminuição da biodiversidade compromete a resiliência dos ecossistemas, tornando-os mais vulneráveis a desastres naturais e diminuindo sua capacidade de se adaptar às mudanças ambientais. Neste contexto, o Brasil ocupa uma posição singular, por abrigar a maior biodiversidade do mundo.

O **HISTÓRICO** da agropecuária brasileira a qualifica para enfrentar os novos desafios. O setor demonstrou sua capacidade de produzir com eficiência em ambientes tropicais, aumentando a produtividade enquanto economiza áreas cultivadas. Além disso, posiciona-se de forma clara quanto ao futuro, comprometendo-se com uma trajetória de constante geração de conhecimento e domínio de tecnologias conservacionistas. Tais práticas visam restaurar áreas degradadas, preservar a biodiversidade, reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e aumentar a resiliência diante dos eventos climáticos. ■





Agricultura inteligente em relação ao clima: um modelo sustentável de produção

A **AGRICULTURA** e a pecuária estão entre as atividades mais vulneráveis às variações climáticas e têm sofrido perdas significativas devido à crescente frequência de eventos climáticos severos. Como consequência, produtores rurais, instituições de pesquisa e a agroindústria estão entre os maiores interessados em encontrar soluções que amenizem tais perdas.

Afinal, o impacto no campo gera uma cadeia de problemas que vai muito além das propriedades rurais. A diminuição da produtividade afeta não apenas a economia do produtor rural, mas também se reflete no aumento dos preços dos alimentos, elevando a insegurança alimentar.

Como consequência, o setor agropecuário vem incorporando o conceito denominado *Agricultura Inteligente em relação ao Clima*, ou *Climate Smart Agriculture* (CSA, na sigla em inglês). Lançado, em 2010, pela Organização das

Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a CSA consiste numa abordagem que visa orientar ações para transformar os sistemas agroalimentares, favorecendo práticas sustentáveis e resilientes ao clima. A iniciativa está relacionada e procura apoiar o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as metas do Acordo de Paris.

A CSA reúne três objetivos principais: aumentar de forma sustentável a produtividade e a renda agrícola; adaptar-se e construir resiliência em relação às mudanças climáticas; e reduzir e/ou eliminar as emissões de GEE.

Nessa abordagem são incentivadas ou fortalecidas as práticas e tecnologias que melhoram a saúde do solo, reduzem a erosão e aumentam a retenção de água, utilizam variedades mais resistentes a condições climáticas extremas como seca ou inundações, entre outras. Importante destacar que cada tecnologia, nesse conceito, deve estar relacionada ao contexto

de adoção, dependendo de fatores socioeconômicos, ambientais e de mudanças climáticas locais.

Com a implementação do modelo de agrícola atento às questões climáticas é possível aumentar a produtividade e produzir mais alimentos sem sobrecarregar os recursos naturais.

Dessa forma, promove-se a segurança nutricional e o aumento da renda, o que é crucial para as populações que dependem principalmente da agricultura para sua subsistência. O modelo prevê a adoção de tecnologias que aumentem a resiliência dos sistemas agrícolas, reduzindo a vulnerabilidade das culturas a secas, inundações, pragas, doenças e outros riscos associados às mudanças climáticas. Simultaneamente, contribui para a redução das emissões de GEE no sistema alimentar, ao se evitar o desmatamento relacionado à expansão de terras agrícolas e aumentando a captura de carbono por meio de plantas e solos. ■

O agro brasileiro avança com sua jornada de sustentabilidade frente às mudanças climáticas

AO ANALISAR a evolução da agricultura brasileira nas últimas três décadas, é possível verificar como a pesquisa e as tecnologias empregadas no país responderam, com sucesso, às demandas globais em relação ao meio ambiente.

A monocultura passou a ceder espaço a sistemas integrados e rotacionados de produção, que têm como características o menor risco às mudanças de clima, melhor convivência com as pragas, maior eficiência no uso da água, ciclagem de nutrientes e de carbono, entre outras vantagens.

A diversificação, que caracteriza tais sistemas, exige maior conhecimento e entendimento de relações mais complexas quando comparados à monocultura. O manejo, nesses casos, demanda visão multidisciplinar na geração de novos conhecimentos e soluções tecnológicas, o que adiciona complexidade às decisões e demanda produtores mais bem preparados.

Desde 2015, a agricultura brasileira vivencia o que alguns autores denominam fase da agricultura de base biológica.

A ênfase da inovação, nesta fase, recai sobre sistemas ainda mais complexos, que demandam transdisciplinaridade (abordagem holística) e são caracterizados pela multifuncionalidade.

Outro aspecto que amadureceu na sociedade, e que afeta o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, é a visão sobre os alimentos, que reflete uma percepção mais sofisticada desses produtos, não apenas como meio de sobrevivência, mas como promotores de saúde e bem-estar. Nessa linha, os consumidores estão interessados nas condições nas quais o alimento é produzido, o que impacta e promove estratégias de rastreabilidade e certificação, incluindo a adoção de boas práticas agrícolas no uso de insumos.

POLÍTICAS INTELIGENTES COM O CLIMA

Um grande marco em relação ao meio ambiente, no Brasil, foi o Código Florestal (Lei 12651), de 2012, que estabeleceu normas gerais que determinam a forma como a vegetação deve ser tratada no Brasil, especialmente dentro das áreas rurais privadas.

A Lei inclui regra sobre a proteção das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e as áreas de Reserva Legal (RL); a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos, a exemplo do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que reconhece e incentiva ações de conservação ambiental, como a restauração de áreas degradadas.

Vale destacar a obrigatoriedade de preservação dentro das propriedades rurais, entre 20 e 80% da área, dependendo do bioma em que a propriedade inserida.

Diversas políticas públicas têm sido desenvolvidas para fortalecer a CSA no Brasil, com destaque para o Plano ABC, o principal instrumento da política agrícola brasileira voltado para a sustentabilidade e o enfrentamento das mudanças climáticas. Originado de compromissos climáticos internacionais e da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (Lei nº 12.187/2009), o Plano ABC promove práticas e tecnologias que reduzem as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e aumentam a resiliência e produtividade da agropecuária.

O Plano se destaca pela colaboração de mais de 30 instituições e pela adoção de sistemas baseados em sólidas evidências técnico-científicas, que aumentam a renda dos produtores e a sustentabilidade do setor. Os Planos Safra anuais têm reforçado essas práticas ao direcionar recursos e instruir instituições financeiras a apoiar a adoção de tecnologias sustentáveis, especialmente por grupos de agricultores mais vulneráveis.

Adicionalmente, o Programa Nacional de Bioinsumos (lançado em 2020) busca ampliar a fortalecer a utilização de bioinsumos, entre eles, os produtos biológicos de controle, visando uma produção mais sustentável.

Por fim, o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas (PNCPD), lançado em 2023, visa dobrar a produção de alimentos sem expandir sobre áreas nativas, incentivando práticas sustentáveis para recuperar pastagens de baixa produtividade.

TRANSFORMAÇÕES DIGITAIS E O FUTURO DA INOVAÇÃO NA AGROPECUÁRIA

Para enfrentar os desafios do setor agropecuário diante das mudanças climáticas, caracterizado por sistemas complexos e multifuncionais, a transformação digital desempenha um papel crucial. Considerada um novo fator de produção, essa transformação tem redefinido a base do crescimento econômico em escala global.

A democratização das tecnologias digitais, viabilizou sua aplicação em toda a cadeia de valor, abrangendo fabricantes de insumos, produtores rurais, processadores, distribuidores e, finalmente, consumidores.

Por meio dessas tecnologias, dados essenciais em áreas como biotecnologia, meteorologia, geotecnologias, informações de mercado, distribuição e logística são coletados e analisados rapidamente, gerando valor para os diversos elos da cadeia.

Soluções como Internet das Coisas (IoT), *big data*, inteligência artificial, impressão 3D, robótica, *blockchain*, realidade aumentada, realidade virtual e plataformas sociais já estão contribuindo significativamente para a inovação na agricultura, tornando os processos mais eficientes, sustentáveis e orientados por dados.



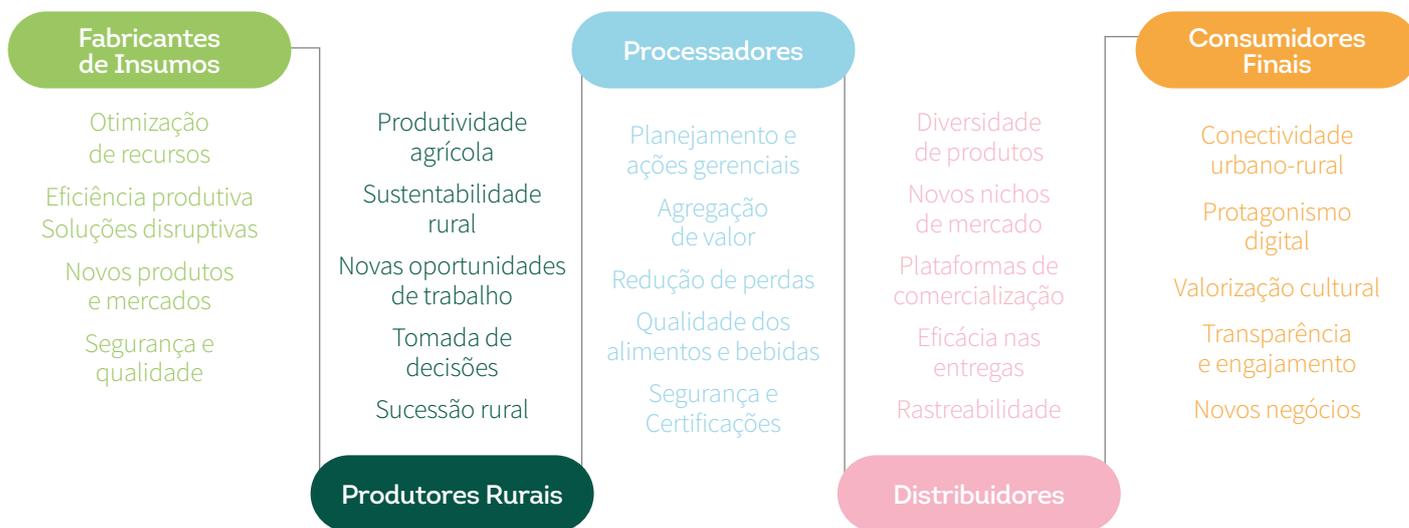
Benefícios potenciais da transformação digital nas cadeias produtivas AGRÍCOLAS

Fonte: Bolfe e Massruhá, 2020

TECNOLOGIAS DIGITAIS

Aplicativos e <i>Softwares</i> Computação em Nuvem <i>Machine Learning</i> Sensores Remotos e Proximais	Automação e Robótica Impressão 3D Plataformas Digitais Sistemas de Informações	<i>Big Data</i> Inteligência Artificial Redes Sociais Sistemas GPS	<i>Blockchain</i> e Criptografia <i>Internet</i> das Coisas Satélites, Nanosatélites e <i>Vants</i> Telemetria
--	---	---	---

BENEFÍCIOS NAS CADEIAS PRODUTIVAS



ECOSSISTEMA DE INOVAÇÃO

Institutos de Pesquisa Incubadoras Fundações	Universidades <i>AgTechs</i> Cooperativas	Empresas <i>Startups</i> Associações	Indústrias Prestadores de Serviços Sindicatos
--	---	--	---

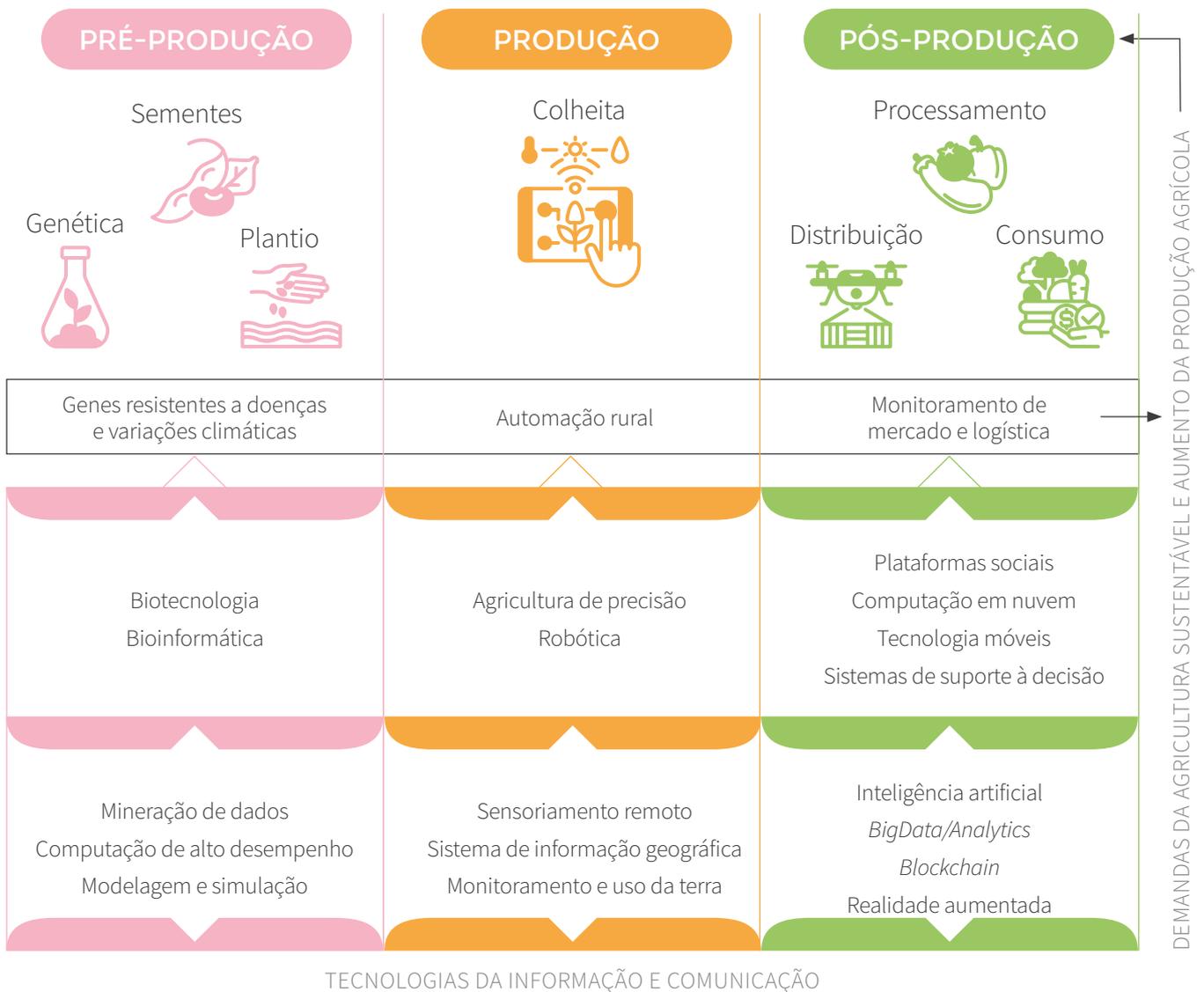
A transformação digital traz benefícios a todos os elos da cadeia agropecuária. Antes da porteira, há um grande potencial de inovações no melhoramento genético de plantas e animais, com tecnologias como análise de dados, modelagem, simulação, biotecnologia e bioinformática, permitindo explorar genes complexos e desenvolver novos produtos mais eficientes e seguros.

Dentro da porteira, a agricultura de precisão utiliza sensores, drones, satélites e máquinas para coletar e centralizar dados, automatizando operações e otimizando o uso de recursos. Isso resulta em maior eficiência, rentabilidade e sustentabilidade na produção agropecuária.

Na fase de pós-produção, tecnologias como inteligência artificial e *blockchain* ajudam na rastreabilidade de produtos e na tomada de decisões mais eficientes nas áreas de armazenamento, logística e comercialização, melhorando a eficiência dos processos e o atendimento às demandas de mercado.



Agricultura digital na cadeia produtiva



De fato, as tecnologias digitais disponíveis para coleta, tratamento e análise de dados abrem um vasto horizonte de possibilidades para a inovação no setor agrícola. No entanto, elas também destacam alguns desafios importantes que ainda precisam ser supera-

dos, como a questão da conectividade. As limitações de infraestrutura no país representam um gargalo significativo, e sem a devida expansão e melhoria dessa conectividade, muitas soluções promissoras podem acabar tendo um uso restrito e limitado. ■

Quais as tendências que deverão nortear agenda da inovação?

O **BRASIL**, como importante player global, continuará desempenhando um papel estratégico na oferta de alimentos, fibras e energia nas próximas décadas, mas enfrentará desafios significativos.

Com a projeção da FAO de que a população mundial alcançará nove bilhões até 2050, será necessário aumentar a produção agrícola em pelo menos 70%, em meio a recursos limitados e demandas mais rigorosas, impulsionadas pela urbanização e mudanças nos hábitos alimentares.

No setor de sementes, será crucial promover cultivares com ciclos produtivos mais curtos e maior resiliência a estresses climáticos. Além disso, a agricultura brasileira deve melhorar a eficiência no uso da água, aumentar a resiliência dos sistemas produtivos e adotar práticas adequadas para o uso da terra, especialmente nas áreas de expansão agrícola.

*Investimentos em ciência, tecnologia, conectividade rural e capacitação profissional em agricultura digital serão fundamentais para enfrentar esses desafios. As mudanças climáticas, agora vistas como uma emergência, ameaçam a produtividade agrícola, exacerbando a insegurança alimentar global. Questões geopolíticas, como conflitos, também trazem riscos adicionais, impactando o acesso a insumos e gerando desafios logísticos que podem afetar o Brasil. Em resposta, é preciso adotar políticas de adaptação e mitigação climática, diversificar as fontes de insumos e desenvolver **SOLUÇÕES** para controle sanitário que maximizem o potencial genético das culturas.*



Como o Brasil está posicionado para continuar inovando?

SEGUNDO A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE): “As atividades de inovação tecnológica são o conjunto de diligências científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais, incluindo o investimento em novos conhecimentos, que realizam ou destinam-se a levar à realização de produtos e processos tecnologicamente novos e melhores”.

O Brasil alcançou resultados extraordinários na inovação agrícola, consolidando-se como uma liderança mundial nas últimas décadas. Esse avanço foi impulsionado por um ambiente favorável à inovação, inicialmente fortalecido por políticas públicas e investimentos governamentais. Gradualmente, o setor privado também

passou a desempenhar um papel essencial, atraído por estímulos de mercado e oportunidades emergentes.

Essa colaboração entre o setor público e privado criou uma estrutura de incentivos que permitiu ao país aproveitar com eficiência as oportunidades no mercado agrícola global.

Para entender os desafios que o Brasil enfrenta para continuar inovando, é importante analisar seu posicionamento global. O Índice Global de Inovação (IGI) avalia o ecossistema de inovação em 132 países, considerando “insumos de inovação” agrupados em cinco pilares: (1) Instituições; (2) Capital humano e pesquisa; (3) Infraestrutura; (4) Sofisticação do mercado; e (5) Sofisticação empresarial. Além disso, o índice mede os “produtos de inovação” em dois pilares: (6) Produtos de conhecimento e tecnologia e (7) Produtos criativos.



Classificação do Índice Global de Inovação (GBI)

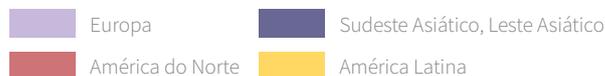
Fonte: WIPO, Agroconsult, 2023

RANKING POR SUBÍNDICE										
País	Ranking Geral	Instituições	Capital Humano e Pesquisa	Infraestrutura	Sofisticação de Mercado	Sofisticação de Negócios	Conhecimento e Tecnologia	Produtos Criativos	Ranking por Grupo de Renda	Ranking por Região
Suíça	1	2	6	4	7	5	1	1	1	1
Suécia	2	18	3	2	10	1	3	8	2	2
EUA	3	16	12	25	1	2	2	12	3	1
Reino Unido	4	24	8	6	3	13	7	2	4	3
Singapura	5	1	2	8	6	3	10	18	5	1
Finlândia	6	3	5	1	12	4	4	16	6	4
Holanda	7	6	13	14	15	8	8	9	7	5
Alemanha	8	22	4	23	14	16	9	9	8	6
Dinamarca	9	5	9	3	21	12	12	7	9	7
Coreia do Sul	10	32	1	11	23	9	11	10	10	2
Brasil	49	99	56	58	50	39	52	46	6	1

RENDA



REGIÃO



De acordo com o Índice Global de Inovação (IGI), o Brasil alcançou a 49ª posição no *ranking* que avalia o ambiente de inovação, marcando uma ascensão gradual nos últimos anos.

Pela primeira vez, o país integra o grupo das 50 economias mais inovadoras do mundo, ultrapassando o Chile (52ª) e assumindo a liderança como a economia mais inovadora da América Latina e Caribe.

Uma análise detalhada dos componentes do índice revela as principais fragilidades do Brasil. No subitem “Instituições”, o país ocupa apenas a 99ª posição, enquanto aparece em 58º lugar em infraestrutura e em 56º em capital humano e pesquisa. Em contrapartida, os melhores desempenhos parciais foram registrados em sofisticação de negócios (39º) e produtos criativos (46º).

Apesar da liderança regional e da melhoria no *ranking*, a distância que ainda separa o Brasil das economias mais inovadoras do mundo é significativa.

Isso evidencia a necessidade urgente de aprimorar o ambiente institucional, investir em infraestrutura e, principalmente, fortalecer o capital humano.

Além de avaliar o ambiente de inovação, é possível analisar os investimentos do Brasil em pesquisa e desenvolvimento (P&D). No *ranking* global de gastos com P&D em relação ao PIB, o Brasil ocupa a 11ª posição, investindo 1,1% do PIB. Em comparação, países como Israel, Coreia do Sul e Estados Unidos lideram com gastos de 5,4%, 4,8% e 3,5% do PIB, respectivamente, em 2020.

Ranking global de gastos com P&D em relação ao PIB (2020)

Fonte: WIPO, Agroconsult, 2023



A análise dos pedidos de concessão de patentes, um indicador relevante do esforço inovativo de um país, revela um crescimento médio global de 3,9% ao ano entre 2012 e 2022. Esse aumento foi impulsionado principalmente pela China, que registrou um impressionante crescimento médio de 9,5% ao ano, atingindo em 2022 a marca de pouco mais de 46% do total de pedidos de patentes no mundo. Em segundo lugar, os Estados Unidos responderam por 17% dos pedidos globais. Em contraste, o Brasil teve uma participação modesta, representando apenas 0,7% do total mundial e ocupando a 10ª posição. Além disso, o país apresentou uma queda preocupante de 2% ao ano, em média, no número de pedidos de patentes ao longo desse período. Esses números destacam a necessidade de fortalecer a capacidade de inovação do Brasil para competir melhor no cenário global.

TOP 5: Países com pedidos de patentes

Fonte: WIPO, Agroconsult, 2023

RANKING	PAÍS	PEDIDOS DE PATENTES (MIL)	SHARE	CAGR 2012-2022
1º	China	1.619,6	46,8%	9,5%
2º	EUA	594,3	17,2%	0,9%
3º	Europa	355,1	10,3%	0,3%
4º	Japão	289,5	8,4%	-1,7%
5º	Coreia do Sul	237,6	6,9%	2,3%
TOP 5 PAÍSES		3.095,9	3,2%	4,4%
10º	Brasil	24,8	0,7%	-2,0%
TOP 10 (Exceto China)		1.695,9	49,5%	0,5%
TOTAL MUNDO		3.457,4	100,0%	3,9%

Uma pesquisa de inovação conduzida pelo IBGE com empresas brasileiras revelou que cerca de um terço delas implementaram inovações entre 2015 e 2017.

Os investimentos em inovação também foram notáveis, com empresas de defensivos químicos destinando recursos três vezes superiores à média nacional.

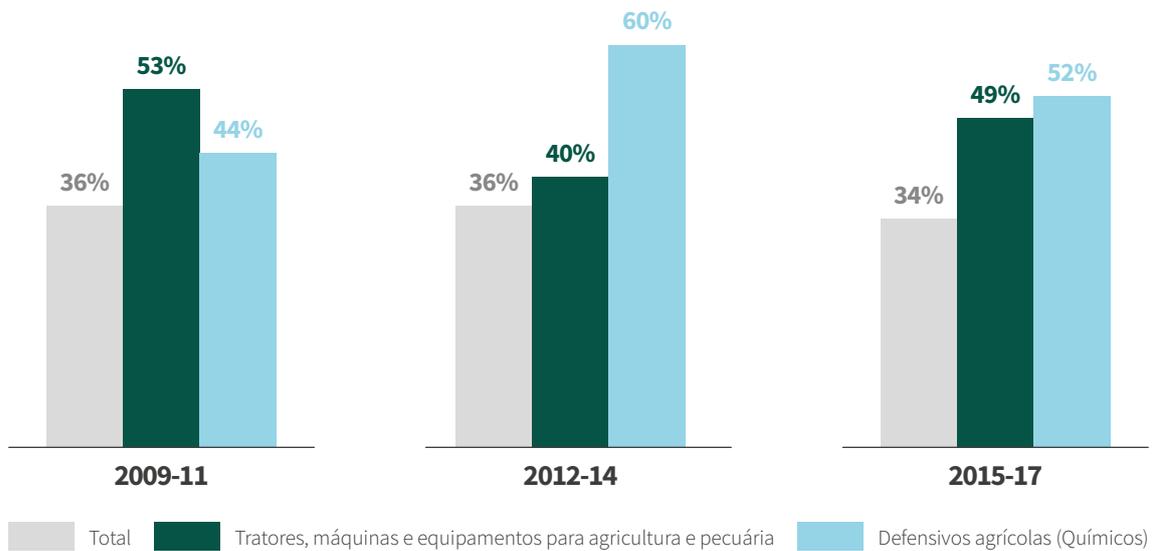
A taxa de inovação — definida como a proporção de empresas que realizaram atividades inovativas em relação ao total pesquisado — foi especialmente alta nos setores de máquinas agrícolas (49%) e defensivos agrícolas (52%).

O setor químico, de forma geral, apresentou dispêndios em inovação equivalentes ao dobro da média, enquanto as indústrias de tratores, máquinas agrícolas e produtos alimentícios investiram 70% a mais que a média nacional em atividades inovativas.

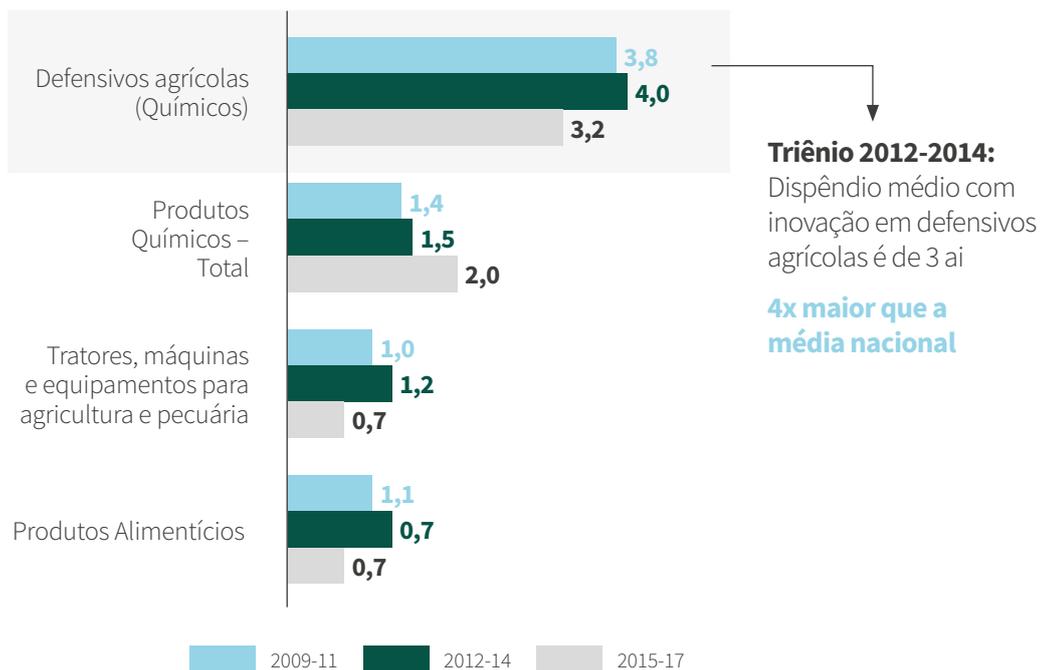
Defensivos AGRÍCOLAS: um dos setores mais inovadores do Brasil

Fonte: IBGE (PINTEC), Agroconsult, 2023

TAXA DE INOVAÇÃO (%)



PROPORÇÃO DO GASTO C/ ATIVIDADES INOVATIVAS EM RELAÇÃO À MÉDIA NACIONAL



No setor de defensivos agrícolas, as atividades internas de P&D absorveram 67% do total dos gastos em inovação, comparado a uma média de 38% para o total de empresas pesquisadas.

Em contrapartida, a aquisição de máquinas e equipamentos representou 32% dos dispêndios em inovação no conjunto das empresas, mas apenas 11% no setor de defensivos. Esses dados revelam que as empresas de defensivos

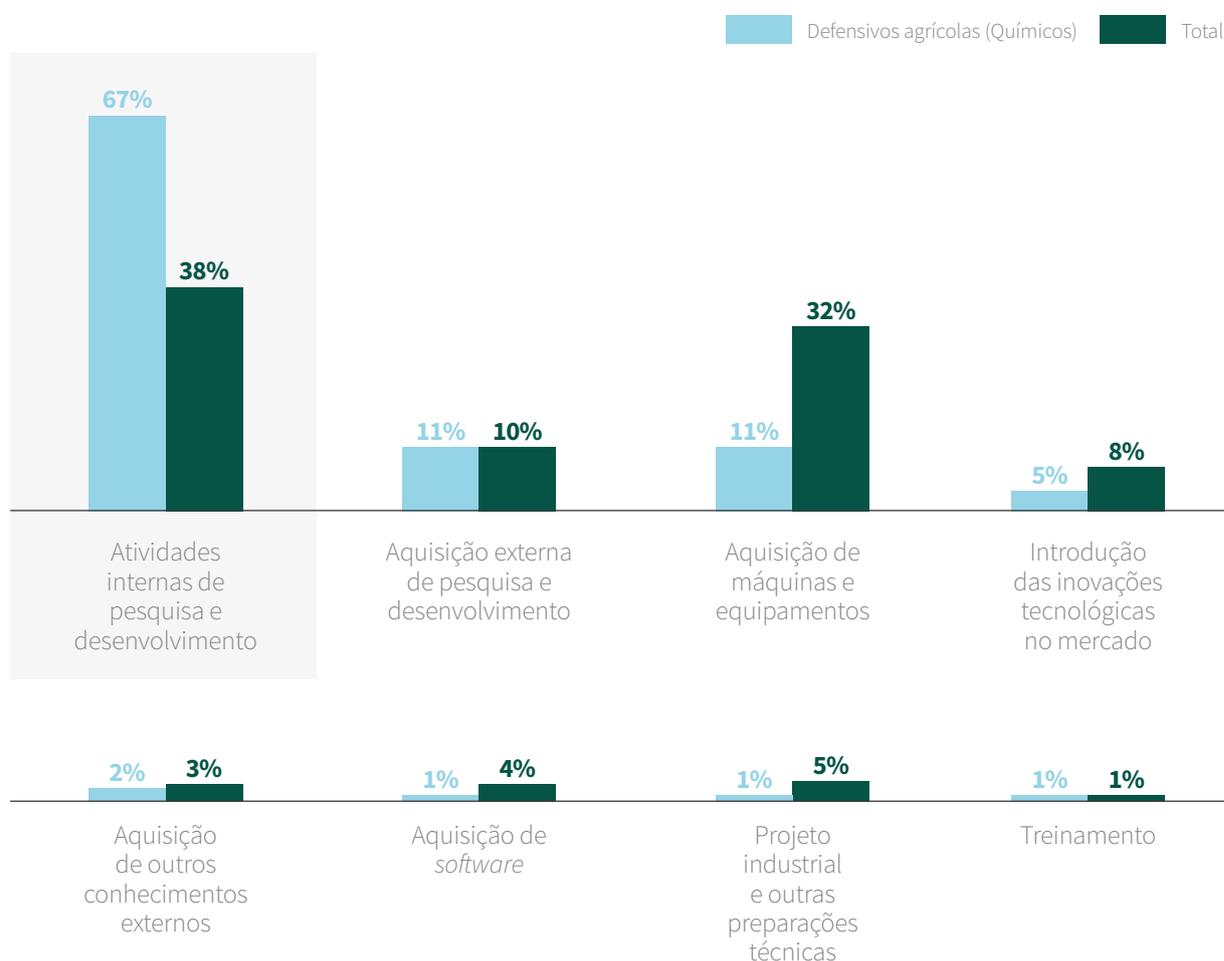
investem significativamente mais em suas próprias estruturas de P&D do que em aquisições externas para inovação.

A pesquisa também apontou os principais obstáculos à inovação, que seguiram a mesma ordem de importância tanto para o conjunto geral de empresas quanto para o setor de defensivos. Os desafios mais citados foram os riscos econômicos, seguidos pelos altos custos associados ao processo de inovação. A falta de pessoal qualificado surgiu como o terceiro maior obstáculo, com a escassez de fontes de financiamento completando a lista das principais dificuldades enfrentadas.



Participação das atividades inovativas nos gastos das empresas brasileiras (2015-2017)

Fonte: IBGE (PINTEC), Agroconsult, 2023



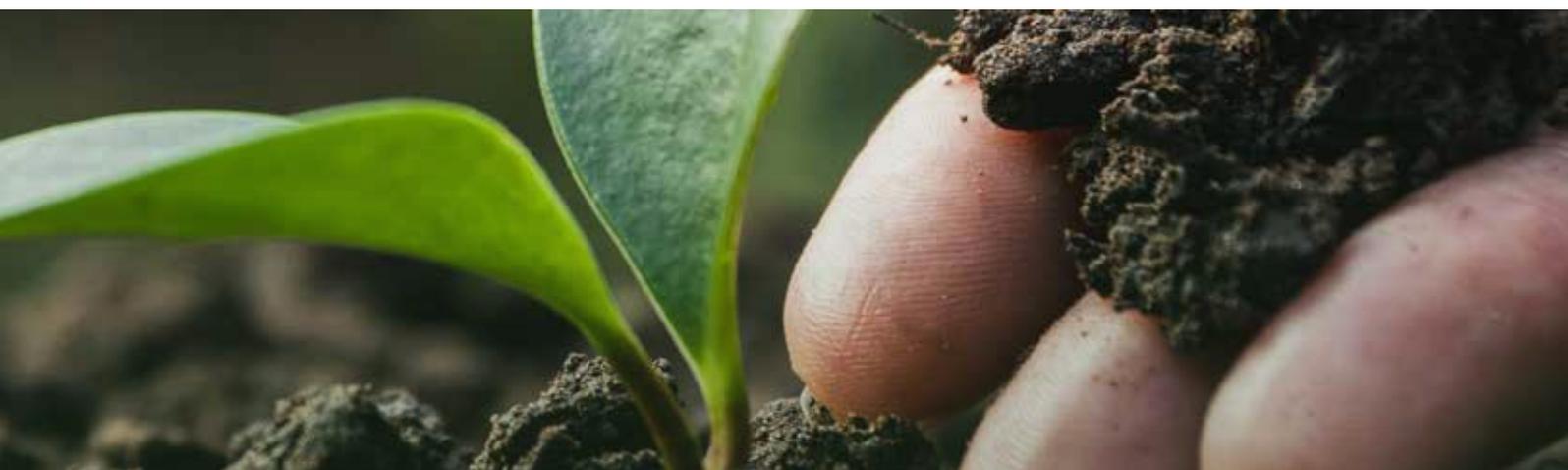
A constatação de que os elevados custos de inovação e os riscos econômicos são os principais obstáculos enfrentados pelas empresas brasileiras destaca a importância de fortalecer a segurança jurídica para proteger os investimentos realizados. Esse aspecto é particularmente crítico para empresas inovadoras nos setores de proteção de cultivos, tanto químicos quanto biológicos, bem como para os segmentos de sementes e biotecnologia.

Para ilustrar, segundo levantamento da Agroconsult, o tempo necessário para desenvolver e lançar novos defensivos químicos no mercado é, em média, de 18 anos, exigindo investimentos de aproximadamente US\$ 286 milhões. No caso de produtos biológicos de controle, o processo leva cerca de 5 anos, com um custo estimado de US\$ 6 milhões. O desenvolvimento de novas sementes requer 10 anos e um investimento de US\$ 13 milhões, enquanto as inovações em biotecnologia demandam

16,5 anos e um dispêndio de US\$ 115 milhões para se tornarem acessíveis ao mercado.

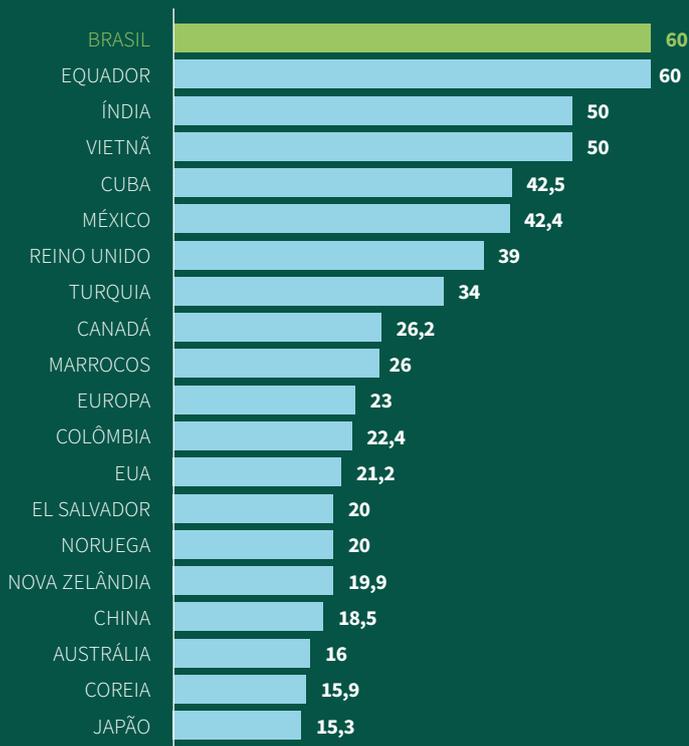
No que diz respeito à proteção intelectual, embora o aparato legal esteja estabelecido, a simples existência de leis não garante que o processo de assegurar esses direitos seja bem-sucedido ou ocorra em prazos razoáveis. Um dos principais pontos de atenção para empresas inovadoras no Brasil é a velocidade na concessão de patentes, comprometida pelo acúmulo de pedidos pendentes (*backlog*) no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Entre 2010 e 2020, o tempo médio para concluir um processo de patente era superior a 10 anos.

De acordo com o relatório da Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI), em 2021, o Brasil tinha o maior tempo de espera para a concessão de patentes no mundo, com processos que podiam durar até 60 meses (5 anos). Embora tenha havido uma pequena melhora em relação a 2020 (62,3 meses), o tempo ainda era significativamente longo, especialmente em comparação com países concorrentes no setor agrícola, como os Estados Unidos, onde a média era de 21,2 meses. No Japão, que lidera o *ranking* de eficiência, o tempo médio era de apenas 15,3 meses, quase quatro vezes mais rápido que no Brasil.



Tempo médio de concessão de patentes (meses)

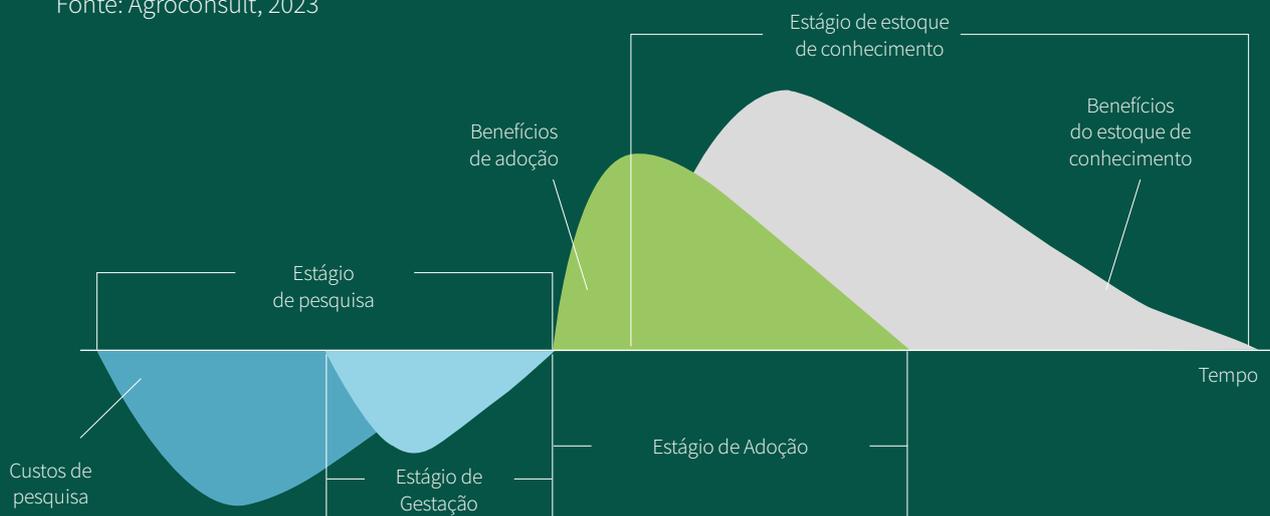
Fonte: WIPO, Agroconsult, 2023



Programas de incentivo à inovação geralmente oferecem parte dos recursos a fundo perdido, visando viabilizar linhas de pesquisa de maior risco ou projetos que envolvem segmentos com menor capacidade de capitalização. Isso se justifica pelo fato de que, nos estágios iniciais do ciclo de vida de um produto — que incluem pesquisa e desenvolvimento —, é necessário um grande estoque de capital humano, conhecimento e recursos financeiros antes que o produto esteja pronto para comercialização e a empresa possa começar a obter retorno sobre o investimento. Este apoio constitui um fator crucial para o avanço da inovação, especialmente em setores onde os riscos são elevados e os prazos de maturação são longos. ■

Fases de desenvolvimento de novos produtos

Fonte: Agroconsult, 2023





Investimentos em inovação e sustentabilidade: a contribuição da agroindústria para o futuro da agropecuária

Os investimentos realizados pelas empresas que se dedicam às soluções agrícolas, que envolvem defensivos químicos e biológicos, sementes e biotecnologia, foram e serão fundamentais para o desenvolvimento da agropecuária, especialmente para garantir a transição para uma abordagem cada vez mais sustentável.

Considerando o faturamento no Brasil, estima-se que as empresas desse segmento aportem cerca de R\$ 40 bilhões em investimentos em P&D a cada ano. Valor próximo ao que a Confederação Nacional da Indústria – CNI estima ser necessário investir até 2050 para a descarbonização do setor industrial brasileiro.

AO LONGO dos anos, o percentual do faturamento dessas empresas dedicado à pesquisa e desenvolvimento variou entre 7 e 10% em média.

A estrutura que garante a entrega de inovações para atender ao desafio é grande. As empresas desse segmento mantêm mais de 440 centros de pesquisa espalhados pelo mundo, dos quais 44 estão no Brasil. Nessa estrutura estão envolvidos mais de 35 mil profissionais altamente qualificados que atuam em equipes globais, interdisciplinares, atuando em parceria com mais de 600 Universidades. ■

De olho no futuro

OS DESAFIOS que se colocam para a agropecuária brasileira são grandes para seguir oferecendo uma quantidade expressiva de produtos, com alto padrão de qualidade e respeito às exigências em relação aos requisitos de sustentabilidade cada vez mais restritos.

O atendimento a essas demandas exigirá a intensificação na geração de conhecimento, envolvendo características da agricultura de base biológica, como pesquisas complexas e transdisciplinares, que demandarão gigantesca capacidade computacional e envolverá diversas tecnologias digitais para dar conta das relações complexas e que envolvem múltiplas funções.

Se no passado foi necessária uma orquestração eficiente de políticas públicas, produtores ousados e resilientes e muito capital, a velocidade da comunicação atual leva a crer que os saltos de conhecimento serão maiores, mais rápidos e exigirão ainda mais coordenação entre os envolvidos. Negociações entre governos, entre órgãos regulatórios demandarão servidores, executivos e pesquisadores muito bem preparados.

Em relação aos montantes que envolvem inovações nos segmentos de insumos relacionados à sanidade vegetal e aos segmentos de sementes, as melhorias relacionadas às garantias de propriedade intelectual serão fundamentais para encorajar os investimentos e garantir a remuneração pelo investimento, pois as empresas inovadoras já enfrentam riscos elevados. Estima-se que as taxas de fracasso total ou parcial de projetos de inovação estejam entre 40 e 90%.

Nesse sentido, o fortalecimento de instituições e a clareza de objetivos nas políticas públicas são essenciais para apoiar a construção e adoção de marcos regulatórios sólidos, fundamentais para a continuidade das inovações.

Outro aspecto importante a ser superado é a limitada capacidade de investimento público em capital humano. É possível ter essa percepção internamente, ao notar a fuga de cérebros para o exterior, e a comparação internacional não deixa dúvida sobre a fragilidade do Brasil em relação a esse componente da capacidade de inovar.

Fica evidente, que o esforço de inovação dependerá muito fortemente de uma ação muito bem coordenada de diversos atores. Certamente o setor privado não faltará, se forem criadas condições para o capital privado investir, com uma atuação célere dos órgãos de proteção intelectual. ■





Cap. 2

MELHORAMENTO GENÉTICO

Estratégia
essencial para
a produtividade
agrícola que o
mundo precisa



Cultivares de alto desempenho revolucionaram a agricultura e serão fundamentais para o futuro

UM DOS maiores avanços na agricultura moderna foi proporcionado pelos conhecimentos de genética das plantas, permitindo que melhoristas vegetais — profissionais especializados nessa área — desenvolvessem culturas de alto desempenho. Como resultado, as sementes e mudas de alto rendimento se tornaram uma peça central da agricultura.

Foram desenvolvidas cultivares com características comerciais altamente desejáveis, como maior tamanho, rendimento e resistência a pragas e doenças, atendendo às exigências do mercado e às necessidades dos produtores.

O melhoramento genético de plantas é uma ferramenta poderosa para enfrentar os desafios de aumentar a produção agrícola de maneira sustentável. Ao investir em pesquisa

e inovação, é possível desenvolver cultivares que não apenas maximizam a produtividade, mas também contribuem na preservação dos recursos naturais e aumentam a resiliência das lavouras aos desafios climáticos.

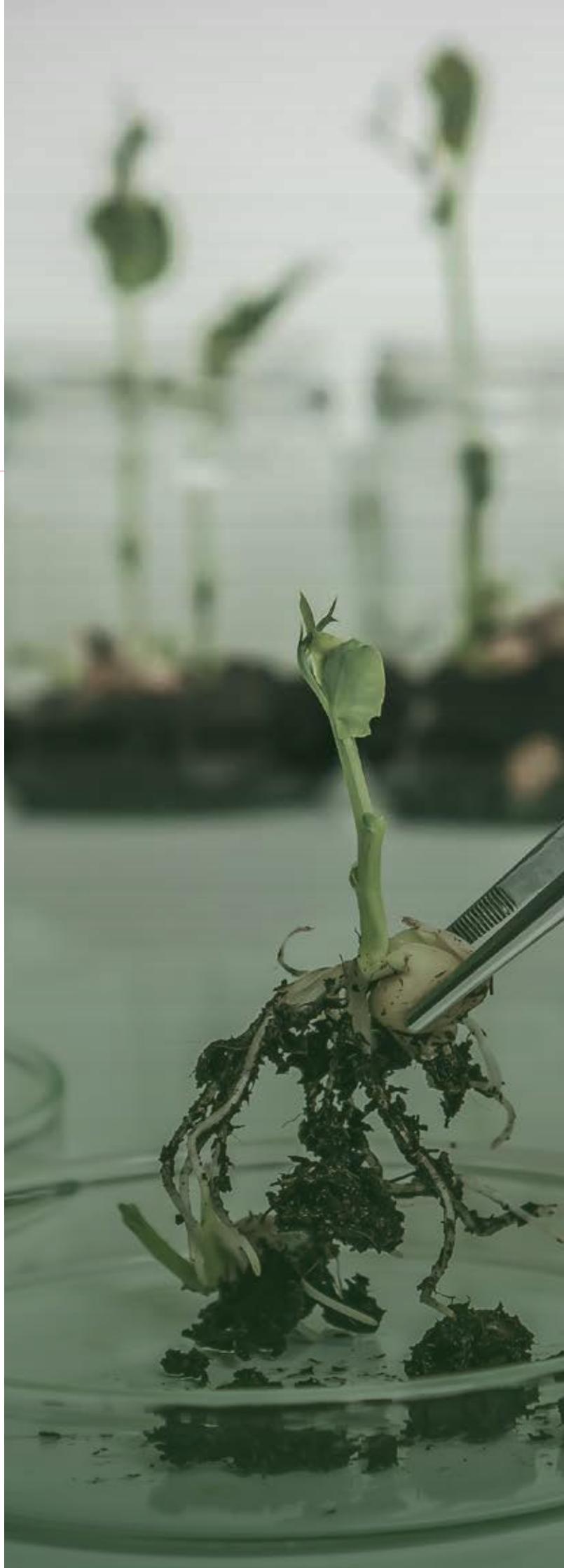
Dessa forma, o melhoramento genético se apresenta como uma solução estratégica para a construção de uma agricultura mais sustentável e resiliente, capaz de atender às necessidades alimentares, de fibras e energias renováveis de uma população crescente sem comprometer o futuro do planeta.

O melhoramento GENÉTICO é uma ciência chave para o aumento de produtividade das culturas agrícolas

O MELHORAMENTO genético de plantas representa o principal mecanismo para o desenvolvimento de novas cultivares de todos os sistemas agrícolas. Sem desconsiderar os demais fatores que contribuem com o aumento de produtividade, como mecanização, manejo do solo, controle de pragas e doenças e irrigação, a genética das sementes e mudas exerce um papel crucial.

Os impactos do aprimoramento genético são evidenciados pelo aumento da produtividade das principais culturas que fornecem alimentos básicos ao mundo.

Até os anos 2000, mais de 8 mil variedades melhoradas foram desenvolvidas para as 11 principais culturas agrícolas do mundo. A adoção dessas variedades resultou em um aumento de 21% na produção em países em desenvolvimento entre 1961 e 1980. No período seguinte, de 1981 a 2000, o crescimento da produção cresceu até 50%, revelando os benefícios significativos do melhoramento genético.



Produtividade das culturas agrícolas relacionadas aos principais alimentos básicos no mundo

Fonte: FAO



BATATA

1961 (kg/ha): **12.215**
2022 (kg/ha): **21.068**
Aumento de **+72%**



BATATA-DOCE

1961 (kg/ha): **7.347**
2022 (kg/ha): **11.921**
Aumento de **+62%**



MANDIOCA

1961 (kg/ha): **7.404**
2022 (kg/ha): **10.311**
Aumento de **+39%**



FEIJÃO

1961 (kg/ha): **493**
2022 (kg/ha): **770**
Aumento de **+56%**



TRIGO

1961 (kg/ha): **1.088**
2022 (kg/ha): **3.688**
Aumento de **+239%**



SOJA

1961 (kg/ha): **1.128**
2022 (kg/ha): **2.607**
Aumento de **+131%**



ARROZ

1961 (kg/ha): **1.869**
2022 (kg/ha): **4.704**
Aumento de **+152%**



MILHO

1961 (kg/ha): **1.942**
2022 (kg/ha): **5.718**
Aumento de **+194%**

O objetivo central do melhoramento genético é aumentar a eficiência das culturas, assegurando que possam fornecer alimentos, fibras e outros produtos essenciais em um ambiente em constante mudança. ■

A base para esse processo está na variação genética natural das populações de plantas, que permite a seleção e combinação de genes vantajosos para enfrentar os desafios impostos pelos sistemas de produção agrícola.



Objetivos do melhoramento GENÉTICO de plantas

Fonte: Agroconsult, 2023



Prática milenar aperfeiçoada pelos conhecimentos científicos

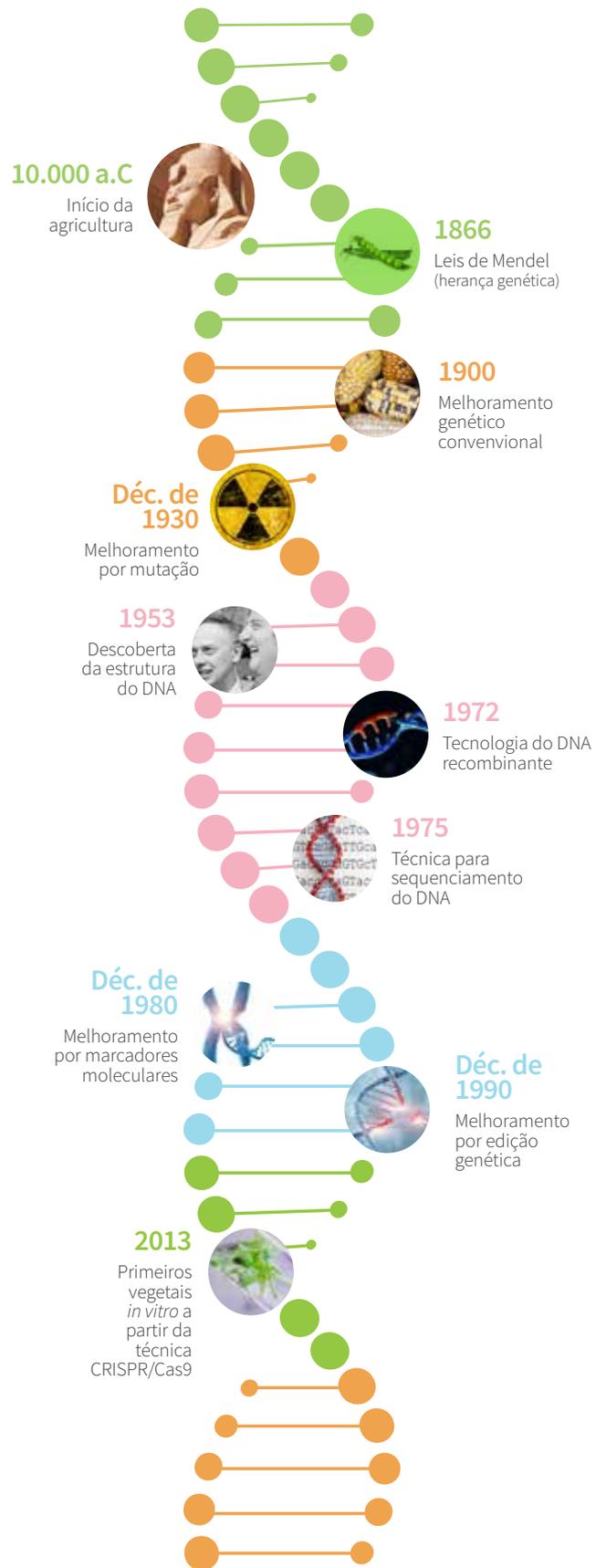
O **MELHORAMENTO** genético de plantas, também conhecido como “domesticação”, desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento das principais culturas que hoje sustentam a alimentação humana, sendo parte integrante da nossa evolução, dado que os ambientes produtivos demandam adaptação e seleção de variedades.

Das 250 mil espécies de plantas descritas e caracterizadas, aproximadamente 50 mil possuem potencial econômico, destacando a importância contínua desse conhecimento para a sociedade e o setor agrícola.

O melhoramento genético surgiu junto com o início da agricultura, há cerca de 10.000 anos. Inicialmente, os agricultores faziam uma seleção empírica das plantas, escolhendo as espécies silvestres que apresentavam características desejadas, como a redução do tempo de florescimento e a retenção de sementes, usadas como fonte de alimento, na época. Dessa forma, os agricultores selecionavam plantas mais precoces e que não dispersavam facilmente suas sementes.

Esse método evoluiu gradualmente e deu origem às grandes culturas agrícolas que conhecemos hoje, como milho, trigo, soja, arroz, cana-de-açúcar e florestas plantadas. No entanto, o melhoramento genético como ciência consolidou-se apenas no século XX, com a aplicação dos conceitos de genética. Os fundamentos modernos dessa ciência são creditados a Gregor Mendel, cujos experimentos de cruzamentos entre plantas revelaram padrões de herança nas gerações.

Um dos pilares do melhoramento genético clássico é o uso da ampla variabilidade genética como base para a seleção de cultivares superiores. Portanto, cruzamentos entre materiais geneticamente distintos ampliam essa variabilidade, permitindo a identificação de indivíduos mais promissores.



A descoberta do DNA representou um marco na área de melhoramento, permitindo a correlação direta entre variações genéticas (genótipo) e características visíveis (fenótipo). Com ele, se evoluiu para o uso de marcadores moleculares, facilitando a chamada seleção assistida por marcadores, onde a presença de um marcador antecipa informações sobre o desempenho fenotípico.

Além disso, os marcadores moleculares ajudam a mapear a variabilidade genética entre cultivares, orientando cruzamentos e assegurando a homogeneidade dos lotes de sementes comerciais.

Com o avanço da engenharia genética e da biotecnologia, o desenvolvimento de novos cultivares com diferentes atributos genéticos ficou mais preciso e eficiente.

Os melhoristas foram adotando ferramentas que permitem interferir de forma controlada e intencional no material genético e alcançar metas esperadas para o desenvolvimento de novas cultivares, sem perdas de características de interesse.

Uma gama de ferramentas que incluem a fenotipagem de alta precisão e bioinformática foram adicionadas para apoiar análises de grandes volumes de dados genéticos e fenotípicos.

Em resumo, as inovações nos conhecimentos de genômica têm permitido que os melhoristas empreguem diversas técnicas em suas estratégias de melhoramento, combinando métodos convencionais e inovadores. Desta forma, orientam o desenvolvimento de plantas adaptadas às condições ambientais em constante mudança, viabilizando a sustentabilidade da produção agrícola.

Estratégias de melhoramento de plantas combinam diversas técnicas

Fonte: Ahmad S. et al, 2020; International Seed Federation



Por fim, a edição genética, empregando tecnologias de alta precisão, como o sistema CRISPR/Cas9, tem se mostrado promissora como ferramenta para promover modificações precisas no DNA das plantas, acelerando o desenvolvimento de variedades que demandariam prazos maiores com os retrocruzamentos convencionais. De fato, as ferramentas de edição gênica, embora oriundas dos conhecimentos de biologia molecular e biotecnologia, são compreendidas como técnicas

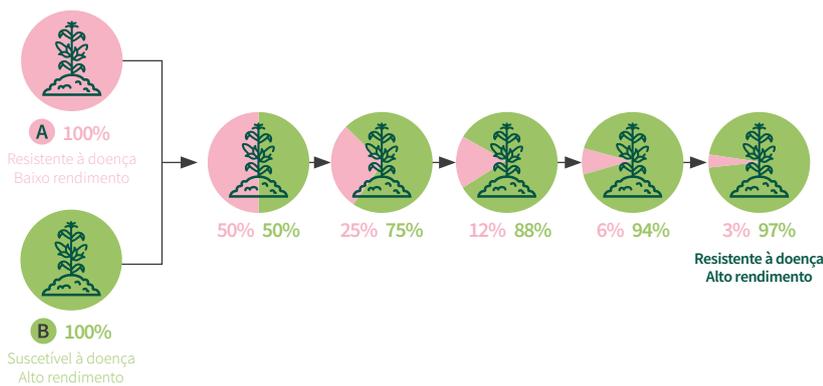
do melhoramento genético e quando não incorporam genes de outros seres vivos no seu genoma, podem ser consideradas como um produto de melhoramento clássico.

A combinação de estratégias de melhoramento tradicional com as novas tecnologias de biotecnologia oferece um caminho promissor para se enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e assegurar a sustentabilidade da agricultura global.

A edição GÊNICA melhora a eficiência e a precisão do melhoramento de plantas

Fonte: Ahmad S. et al, 2020; International Seed Federation

MELHORAMENTO CONVENCIONAL: 5-7 CICLOS DE RETROCRUZAMENTO



≥8-10 anos para chegar aos testes de campo



Resistente à doença Alto rendimento

O melhoramento convencional leva várias gerações de retrocruzamentos para remover características indesejáveis.

EDIÇÃO GÊNICA: 1-2 CICLOS



<4 anos para chegar aos testes de campo



Resistente à doença Alto rendimento

A edição gênica pode reduzir significativamente o retrocruzamento ao fazer mudanças direcionadas.

Germoplasma: a base GENÉTICA e tecnológica para uma agricultura de alto rendimento

O **GERMOPLASMA** constitui a base dos programas de melhoramento genético, sendo a estrutura que armazena o material genético de uma espécie que é transmitido de uma geração para outra. É nele que residem todas as informações hereditárias de plantas, animais e microrganismos, assim como suas características físicas e funcionais.

Compreender o papel crucial do germoplasma ajuda a evidenciar sua importância não apenas para a sustentabilidade das atividades agrícolas, mas também para a segurança alimentar e a conservação da biodiversidade.

As sementes, por sua vez, são estruturas que protegem o germoplasma e contêm os nutrientes essenciais para o desenvolvimento de novas plantas. Elas abrigam todo o perfil genético de uma cultivar e são determinantes para alcançar o máximo potencial produtivo de uma espécie. As mudas, por outro



lado, são obtidas a partir de sementes ou de partes de plantas adultas e são utilizadas para estabelecer novos cultivos, contribuindo para a propagação eficiente das variedades.

Atualmente, mais de 90% das espécies utilizadas para a produção de alimentos globalmente são propagadas por meio de sementes. Elas formam a base de culturas agrícolas essenciais, como soja, trigo e milho.



Nas plantas cultivadas, sementes e mudas representam componentes fundamentais para a produtividade, pois carregam as características genéticas que refletem toda a tecnologia incorporada nas cultivares melhoradas. Este é um fator essencial para garantir uma agricultura de alto rendimento e sustentabilidade a longo prazo.



O melhoramento GENÉTICO foi essencial para a adaptação à agricultura tropical brasileira

O MELHORAMENTO de plantas no Brasil teve início há décadas, concentrando-se inicialmente no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), no estado de São Paulo, fundado no ano de 1887 pelo então Imperador D. Pedro II. Nas últimas cinco décadas, o setor experimentou um grande avanço, impulsionado por diversas iniciativas e fatores estruturantes. A criação da Embrapa na década de 1970, juntamente com outros institutos de pesquisa agropecuária, marcou um divisor de águas no desenvolvimento da agricultura tropical. Essas instituições se dedicaram a selecionar e recomendar novas cultivares, ampliando significativamente a produtividade agrícola.

O sucesso da adoção de tecnologias agrícolas no país deve-se, em boa parte, ao esforço da Embrapa em qualificar seus profissionais e ao fortalecimento da formação em melhoramento genético de plantas nas universidades brasileiras.

Outro marco fundamental foi a promulgação da Lei de Proteção de Cultivares (LPC), em 1997, que incentivou investimentos do setor privado na produção de sementes.

Essa legislação permitiu avanços significativos, especialmente em cultivos de alto valor para o agronegócio, como o milho e a soja, consolidando o Brasil como um protagonista global no melhoramento genético de plantas.

Atualmente, instituições públicas e privadas oferecem uma ampla variedade de cultivares adaptadas às principais culturas brasileiras, focando nos desafios emergentes da agricultura. As técnicas de melhoramento de plantas, amplamente adotadas nas últimas cinco décadas, mostraram-se altamente eficazes, contribuindo para um aumento expressivo na produtividade agrícola.

Em um ambiente tropical com grande diversidade climática, o melhoramento genético desempenha um papel essencial. Ele proporciona características como resistência a doenças e pragas, tolerância a condições adversas como calor, salinidade e geada, além de melhorias no tamanho, formato e tempo de maturação das plantas. A contribuição do melhoramento de plantas no Brasil é evidente em dezenas de espécies, incluindo grãos, frutas, hortaliças e florestas plantadas. ■

Adaptação da soja ao Centro-Oeste

A **SOJA**, introduzida no Brasil há décadas, era cultivada apenas na região Sul, devido às limitações climáticas. Na década de 1970, com a criação de cultivares adaptadas, a produção expandiu para o Centro-Oeste. Originalmente domesticada em regiões de alta latitude, a soja enfrentou desafios de floração precoce em áreas tropicais. Para superar essa característica, o melhoramento incorporou o traço de “longo período juvenil” a partir de linhagens das Filipinas, permitindo o cultivo em latitudes menores.

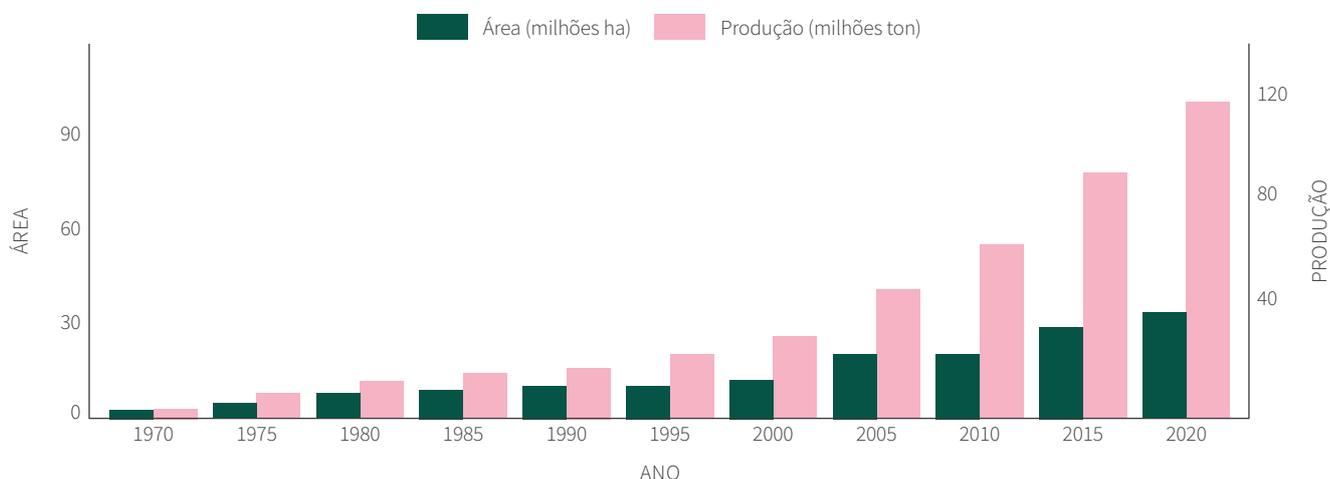
A expansão da soja também foi facilitada pela adaptação de cepas eficientes de

Bradyrhizobium para a fixação de nitrogênio, reduzindo significativamente a necessidade de fertilizantes nitrogenados. ■

Como resultado dessa e as demais tecnologias, em 50 anos, a área plantada cresceu 27 vezes desde 1970, enquanto a produção de grãos aumentou 76 vezes, de 1,5 para 114,27 milhões de toneladas.

Evolução da produção de soja no Brasil (50 anos)

Fonte: FAO





Cultivo de milho segunda safra

ATÉ MEADOS da década de 1980, o milho era cultivado apenas na safra de verão, de setembro a novembro. No entanto, a competição com a soja levou à introdução da segunda safra, inicialmente no Paraná, em fevereiro e março. Embora no início fosse vista como arriscada, a “safrinha” se consolidou e hoje domina a produção de milho, especialmente no Centro-Oeste, região que concentra a maior produção de grãos do Brasil.

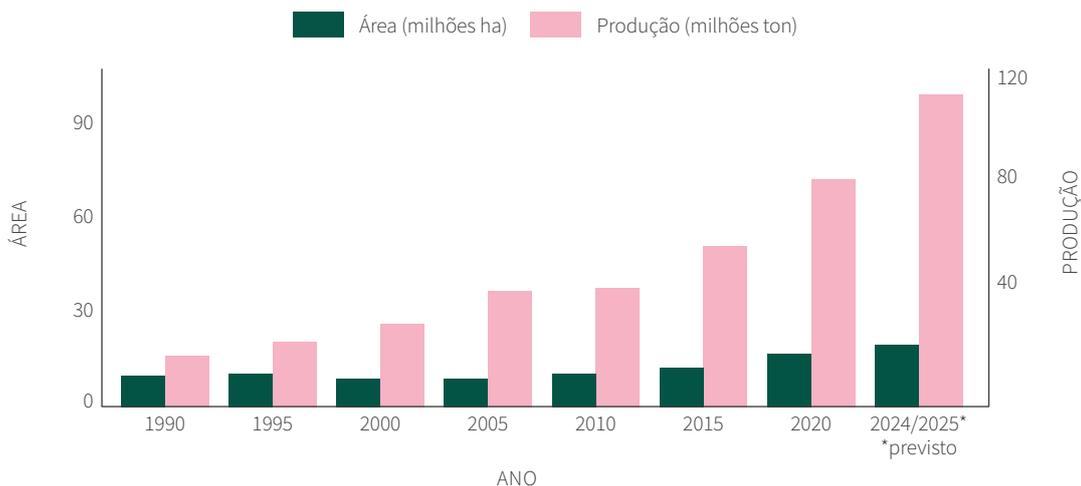
O melhoramento genético foi essencial para adaptar o milho às novas condições, resultando em um aumento expressivo de produtividade.

Em 1990, a produção era de 24,1 milhões de toneladas, enquanto em 2024, a produção estimada é de 119,7 milhões de toneladas. Isso representa um crescimento de 396%. A produtividade das lavouras, por sua vez, cresceu 218%. Em 1990, se produzia em torno de 1,79 toneladas por hectare, em 2024 a expectativa é de 5,70 toneladas por hectare.

Em 1990, 94,1% da produção era oriunda da primeira safra e apenas 5,9% da segunda safra. Hoje, as importâncias se inverteram e a segunda safra como responsável por 75,3% do milho produzido, e a primeira safra com apenas 21,8%. Esse sucesso se deve a cultivares adaptadas e a programas específicos de híbridos para a segunda safra, associado ao desenvolvimento de novas variedades de soja, mais precoces e produtivas, permitindo a rotação entre as duas culturas na mesma safra. ■

Evolução da produção de milho no Brasil

Fonte: Conab



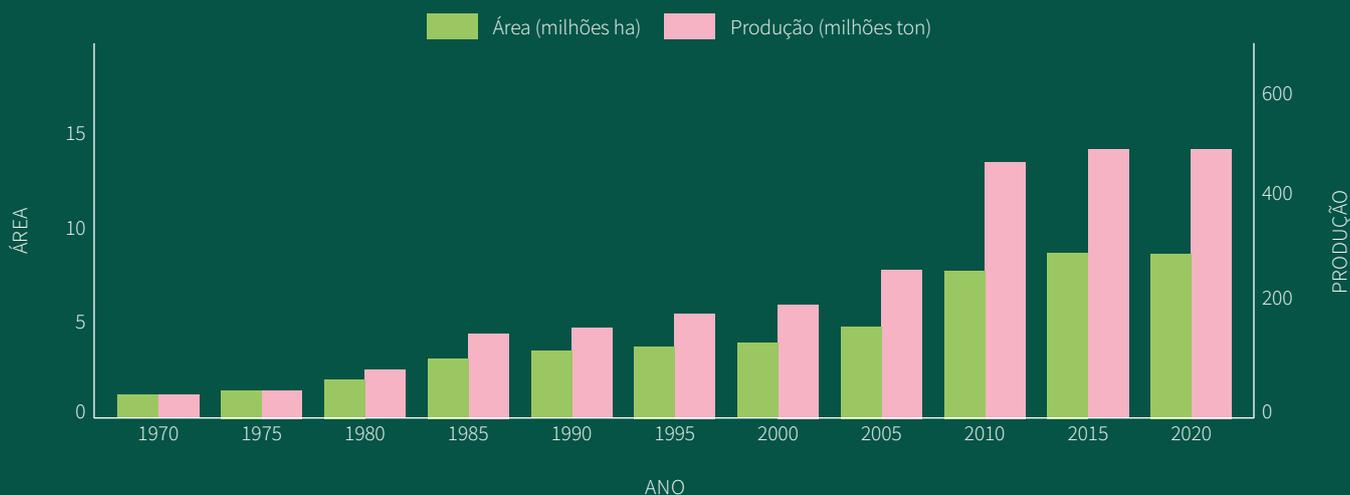
Parceria academia e empresas no melhoramento da cana-de-açúcar

O BRASIL possui uma longa tradição de melhoramento genético na cana-de-açúcar, iniciada em 1928 com o programa do Instituto Agrônomo (IAC). Outros importantes programas, como o da Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool de São Paulo, que viria a se transformar no Centro de Tecnologia Canieira (CTC) e o PLANALSUCAR, contribuíram significativamente até seus encerramentos em 1990. Os recursos do PLANALSUCAR foram transferidos para universidades e empresas privadas, resultando na criação da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA).

A RIDESA, juntamente com os demais centros de pesquisa acima mencionados, permitiu a formação de novos especialistas e a continuidade das pesquisas. O melhoramento genético, combinado com práticas aprimoradas de manejo, contribuiu para a expansão da área plantada de 1,73 milhões de hectares em 1970 para 10,08 milhões de hectares em 2019. A produção aumentou 940% no mesmo período, alcançando 752,9 milhões de toneladas, indicando um aumento significativo na produtividade, mesmo em pequenas áreas de cultivo.

Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: FAO



Esses avanços foram impulsionados pela introdução de novos clones e a colaboração entre programas públicos e privados, fortalecendo a

posição do Brasil como líder na produção de cana-de-açúcar e no desenvolvimento de novas tecnologias. ■





Melhoramento de eucalipto para produção de celulose, madeira e energia

O **MELHORAMENTO** genético do eucalipto no Brasil começou no início do século XX e se consolidou a partir de 1941. A expansão das florestas ocorreu principalmente a partir da década de 1970, impulsionada por incentivos fiscais voltados para a produção de celulose e carvão vegetal. Desde então, o setor privado lidera o melhoramento genético, enfocando na seleção espécies e ganhos de produtividade, liberando novos clones anualmente, mesmo com a duração prolongada dos ciclos de seleção.

A introdução de plantas clonais pela Ara-cruz Celulose (atualmente Suzano) marcou um avanço significativo, permitindo a reprodução eficiente de híbridos e acelerando o progresso genético. Nos anos 1980, o uso de marcadores moleculares e seleção genômica ampliou ainda mais o potencial de melhoramento.

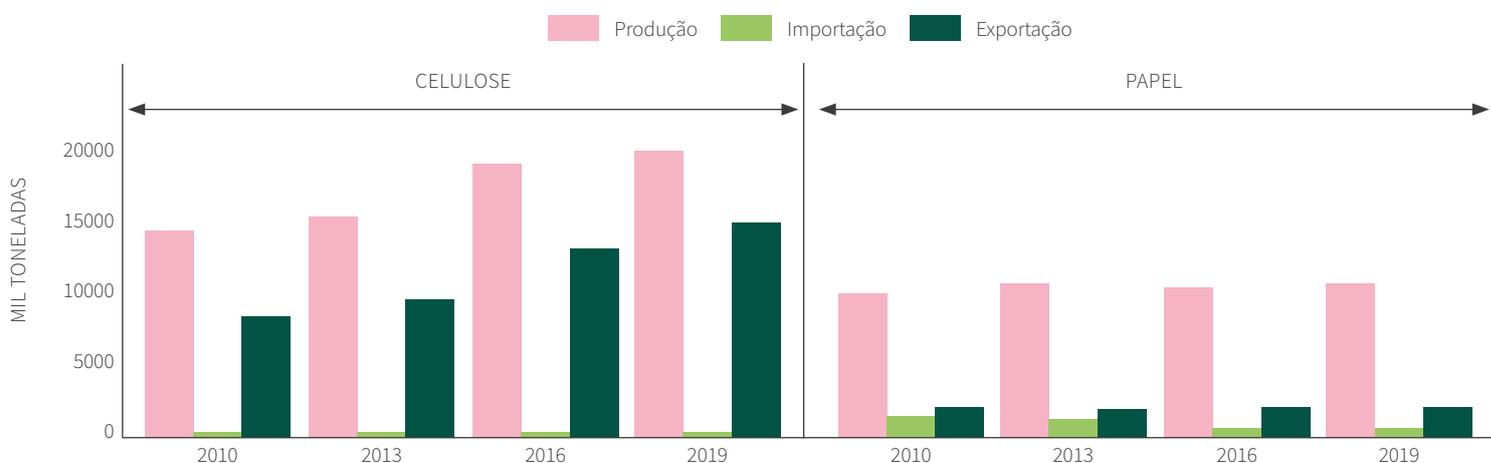
O eucalipto é utilizado principalmente para a produção de celulose, papel e carvão vegetal. Grande parte da celulose é exportada, enquanto a produção de papel é voltada para o mercado interno. Outro fato notável é que o eucalipto é usado para produzir energia, lenha ou carvão vegetal. Em 1983, por exemplo, a produção de

carvão vegetal derivado de florestas nativas, era de aproximadamente 82%. Apenas 18% eram florestas plantadas. Atualmente, pratica-

mente 100% do carvão vegetal consumido, o que é muito maior do que no início da década de 1980, é derivado do eucalipto. ■

Evolução da produção de celulose e papel de eucalipto no Brasil

Fonte: Ibrá



Desenvolvimento de sementes e mudas melhoradas

O **MELHORAMENTO** genético é resultado de investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), de processos de seleção genética, tradicionalmente longos, determinados pelo tempo biológico das plantas e guiados pela observação dos resultados, positivos e ou negativos, a cada ciclo natural da planta, e mais recentemente, acelerados por técnicas que envolvem conhecimento do genoma das plantas, bioinformática e inteligência artificial.

Todo esse processo pode ser conduzido para encontrar indivíduos geneticamente superiores, genes ou características agronômicas pontuais. As etapas de desenvolvimento de uma nova cultivar envolvem desde a seleção de características de interesse, cruzamentos, seleção de plantas de interesse e testes de campo até o registro da nova cultivar.

Etapas de desenvolvimento de uma nova cultivar

Fonte: Agroconsult, 2023



Investimento médio de **US\$13 milhões** (melhoramento convencional)

As inovações associadas às sementes melhoradas resultam da convergência de vários conhecimentos.

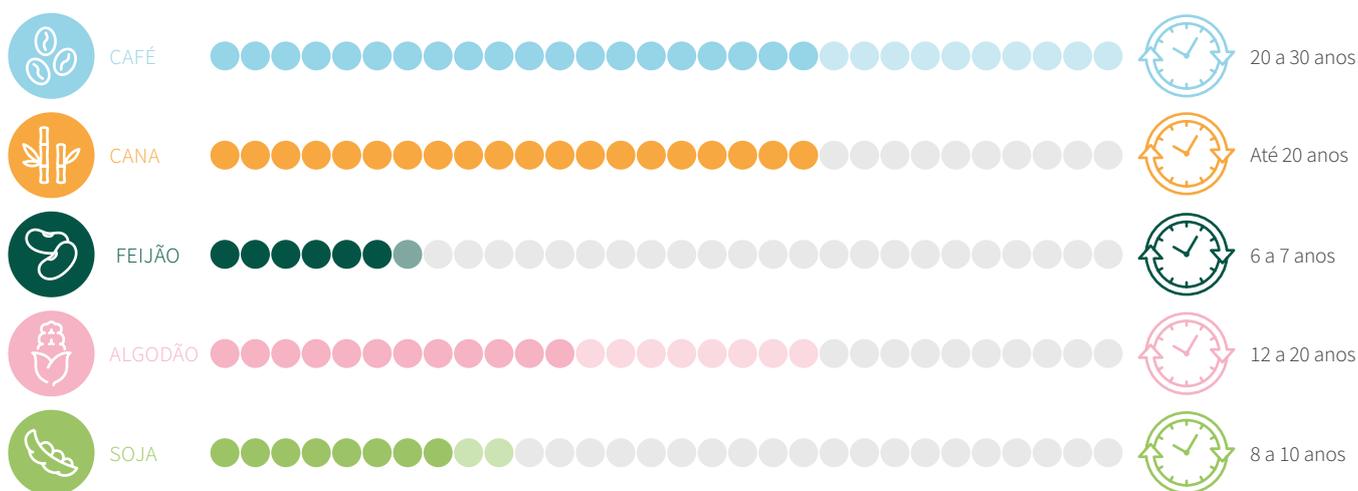
Esse processo contempla tanto as técnicas tradicionais de melhoramento genético, quanto as inovações mais recentes, incluindo as ferramentas derivadas da biotecnologia. Em outras palavras, o potencial dessas sementes é ampliado por técnicas que adicionam, silenciam ou fazem pequenas alte-

rações nos genes, acelerando efeitos desejados e fortalecendo características essenciais para uma maior produtividade e resistência das plantas. Muitas dessas transformações simulam variações genéticas que poderiam ocorrer espontaneamente na natureza, em virtude das interações dos genes com o meio ambiente, mas levariam muitos anos para ocorrer.

O tempo de desenvolvimento de uma nova cultivar, assim como o seu custo, varia em função do objetivo e espécie vegetal, mas na média leva-se 10 anos para desenvolver uma nova variedade. ■

Tempo de desenvolvimento de novas cultivares

Fonte: Agroconsult, 2023



Na média, leva-se **10 anos** para o desenvolvimento de uma nova cultivar

Novas cultivares são registradas mediante avaliação de desempenho

O **MINISTÉRIO** da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabeleceu mecanismos para a organização, sistematização e controle da produção e comercialização de sementes e mudas, e instituiu, o Registro Nacional de Cultivares – RNC desde 1997. Com ele, cada candidata a nova cultivar precisa

ser submetida a testes de Valor de Cultivo e Uso (VCU), que avaliam o seu desempenho nas regiões produtivas para as quais foi desenvolvida. Essas avaliações de campo são exigidas pelo MAPA para que uma nova cultivar possa integrar o Registro Nacional de Cultivares (RNC).

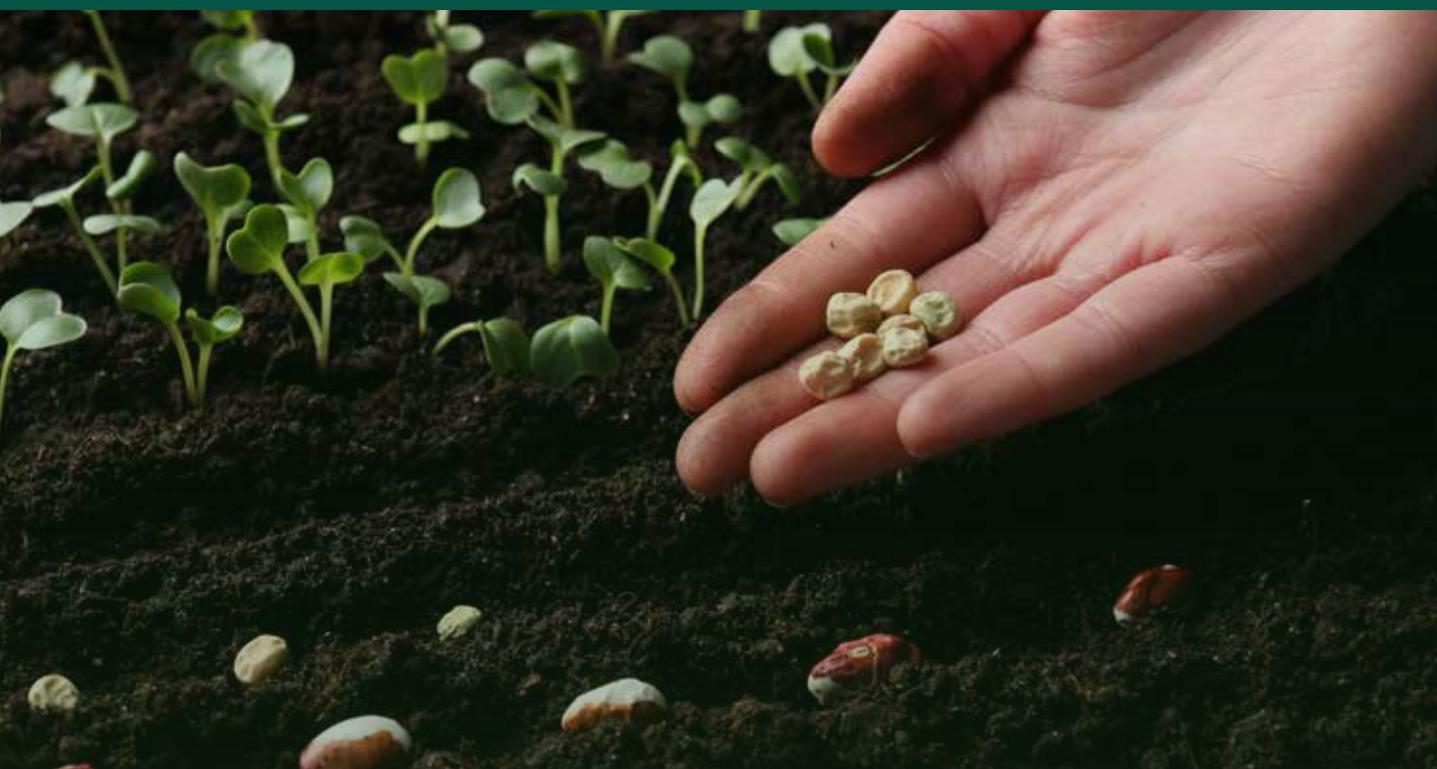
De acordo com a legislação uma nova cultivar precisa ser distinta, homogênea e estável. Distinta das variedades que já existem, homogênea em relação às características que justificaram o seu registro, e estável na expressão dessas características ao longo das gerações.

O Sistema Nacional de Sementes e Mudas (SNSM), que garante a qualidade das sementes e mudas produzidas e comercializadas no Brasil estabelece requisitos para registro, certificação e análise de sementes, assegurando que os produtores tenham acesso a material genético de alta qualidade. Esse sistema é fiscalizado pelo MAPA, que regula desde a produção até a comercialização, para todo o processo ocorra em conformidade com os padrões nacionais e internacionais.

Entre 1998 e 2023, o Brasil registrou 32.205 novos cultivares, com uma média de 1.239 novos registros por ano.

Ao mesmo tempo que observamos um crescimento de registro de cultivares verificamos que houve um aumento de proteções realizadas no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, indicando que diversas empresas públicas e privadas passaram a proteger suas novas cultivares no mercado.

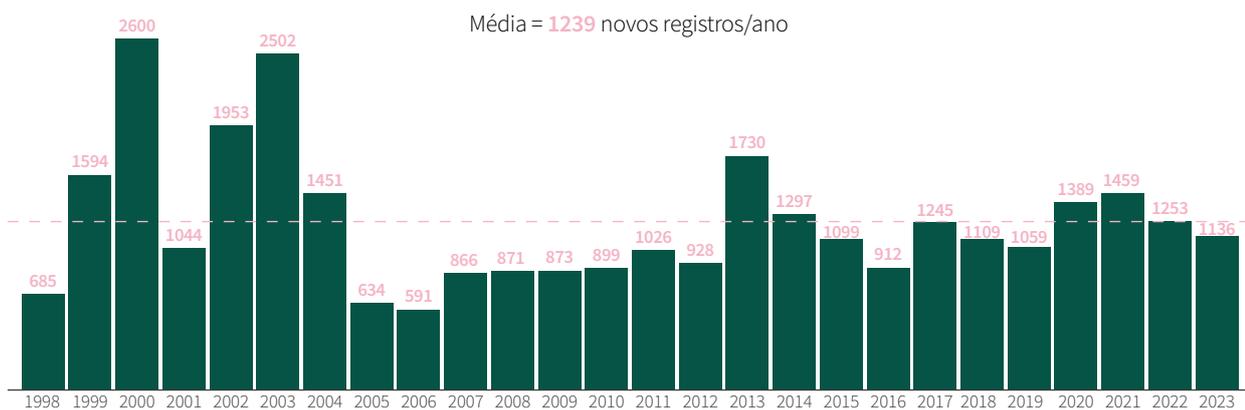
Além da diversificação de produtos vegetais que passaram a ser desenvolvidos, o crescimento no número de cultivares registradas e protegidas revela uma grande oferta de produtos com tecnologias inovadoras que beneficiam produtores rurais e consumidores.





Número de cultivares registradas no Brasil

Fonte: MAPA, Agroconsult, 2023



Entre 1998 e 2023, o Brasil registrou **32.205** novas cultivares.

O processo de produção das sementes é realizado em locais específicos, chamados de campos de produção sementes, que precisam ser isolados para evitar contaminações, e registrados no MAPA.

Após o cultivo, as sementes colhidas são submetidas a diferentes testes em laboratório, com

o objetivo de avaliar a pureza e suas qualidades fisiológicas e sanitárias. E, após passarem pelos testes, os lotes aprovados são levados para unidades de beneficiamento, onde são retiradas impurezas e materiais indesejáveis, como grãos quebrados e sementes de outras espécies. Nesses locais também é feita a classificação por tamanho, peso, idade, entre outros atributos. Sementes que não estiverem dentro dos padrões de classificação não podem ser vendidas para o produtor, e serão destinadas à venda como grãos. ■

As Leis de Proteção de Cultivares (LPC) e de Propriedade Industrial (LPI) são reconhecidas como as leis de maior impacto para o setor agrícola

A **FUSÃO** de conhecimentos e avanços tecnológicos tem permitido ao setor agrícola desenvolver sementes e mudas que não apenas atendem às crescentes demandas ambientais e de produtividade, mas também contribuem significativamente para a segurança alimentar. Diante dos investimentos e esforços de diversos especialistas, é essencial que as variedades de plantas resultantes de extensos períodos de P&D sejam protegidas por um sistema eficaz de propriedade intelectual.

A proteção da propriedade intelectual sobre novas cultivares foi normatizada pela União Internacional para Proteção de Novas Variedades de Plantas (UPOV). No Brasil, o marco regulatório essencial para incentivar a inovação em genética é a Lei de Proteção de Cultivares (LPC), instituída pela Lei 9.456 de 1997. Essa legislação protege os direitos dos criadores de novas variedades de plantas, concedendo-lhes exclusividade na comercialização de cultivares desenvolvidas por programas de melhoramento genético.

De fato, as leis reconhecidas como de maior valor para impulsionar as inovações no setor agrícola são justamente as relacionadas às sementes e mudas.

A Lei de Propriedade Industrial e a Lei de Proteção de Cultivares, alteraram profundamente o modelo de desenvolvimento tecnológico na produção de sementes no Brasil, possibilitando oferta mais adequada às necessidades dos produtores.

Antes da LPC, as novas cultivares, eram quase totalmente desenvolvidas por instituições de pesquisa pública. Ao proteger os direitos dos criadores de novas variedades de plantas, a legislação atraiu investimentos públicos e privados para intensificar e acelerar os programas de melhoramento genético. ■

A partir daí se desencadeou um vigoroso processo de inovação e difusão de tecnologias de ponta, fortalecendo a competitividade das principais cadeias produtivas do agronegócio brasileiro.

Protegendo a inovação em cultivares e as tecnologias nelas inseridas

COM O avanço da ciência, tornou-se possível incorporar às plantas tecnologias protegidas por patentes, como as biotecnologias, gerando direitos ao detentor da patente que não interferem nos direitos do obtentor do cultivar. Ambos são legitimamente adquiridos e concedidos pelas instituições competentes, como o INPI e o MAPA. Dessa forma, cada titular possui direitos previstos nas legislações vigentes, podendo utilizar de forma exclusiva os ativos protegidos – a cultivar e a tecnologia – e/ou licenciá-los para terceiros, garantindo a cobrança de *royalties* durante o período de vigência da exclusividade.

Nesse sistema, o produtor rural tem a possibilidade de adquirir sementes de diversas fontes: diretamente da detentora do germoplasma com biotecnologia incorporada, de uma empresa multiplicadora de sementes, de um revendedor ou da sua própria produção, com base na permissão para salvar sementes para uso próprio.

A utilização das sementes condiciona o produtor à celebração de um contrato de licenciamento da tecnologia protegida, bem como ao pagamento dos royalties estabelecidos.

O pagamento de *royalties* sobre as cultivares é uma prática consolidada mundialmente que visa remunerar os desenvolvedores de novas variedades de plantas e estimular a inovação no setor agrícola.

Essa remuneração cobre os custos de P&D necessários para criar variedades com características aprimoradas, como maior resistência a pragas, maior produtividade e adaptação a diferentes condições climáticas. Ao incentivar o investimento contínuo em melhoramento genético, esse modelo beneficia todo o setor agrícola, proporcionando acesso a cultivares mais eficientes e sustentáveis.



A modernização da Lei de Proteção de Cultivares (LPC) deve ser uma prioridade

QUASE 30 anos depois da promulgação da LPC, vemos que o mercado se transformou bastante com o avanço das tecnologias e faz-se necessário modernizar a legislação para que esta continue a viabilizar o progresso do setor, garantindo segurança jurídica para os investimentos no desenvolvimento de novas variedades.

Dentre as necessidades de modernização da LPC destacam-se: a necessidade de prever remuneração da pesquisa realizada pelos desenvolvedores de cultivares; o aumento do período de proteção das variedades para harmonização com tendências internacionais; e a criminalização do comércio ilegal de sementes. ■

A LPC deve ser modernizada para que o investimento científico e tecnológico empregado no desenvolvimento de uma nova variedade comercial com base nessas tecnologias seja recompensado. Do contrário, não poderemos contar com o potencial que o melhoramento genético oferece.

A inovação em genética de plantas não pode parar!

A **CRESCENTE** demanda global por alimentos e os impactos das mudanças climáticas exigem o desenvolvimento contínuo de variedades de plantas melhoradas. Mesmo com décadas de progresso na obtenção genéticas aprimoradas, novas cultivares, adaptadas a condições ambientais adversas, são essenciais para garantir a produção de alimentos na quantidade necessária e para o alcance das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a produção agrícola global precisa dobrar até 2050 para atender às demandas projetadas de aumento da população. Para isso, precisamos elevar a produtividade das colheitas no lugar de expandir as fronteiras agrícolas. E será que estamos no caminho?

Um estudo da Universidade de Minnesota dos Estados Unidos analisou as quatro principais culturas – milho, arroz, trigo e soja – que produzem quase dois terços das calorias consumidas no mundo e verificou que apesar de todas essas culturas apresentarem expectativa de crescimento de produtividade, as taxas históricas projetadas são inferiores ao percentual de aumento necessário para se dobrar a produção até 2050.

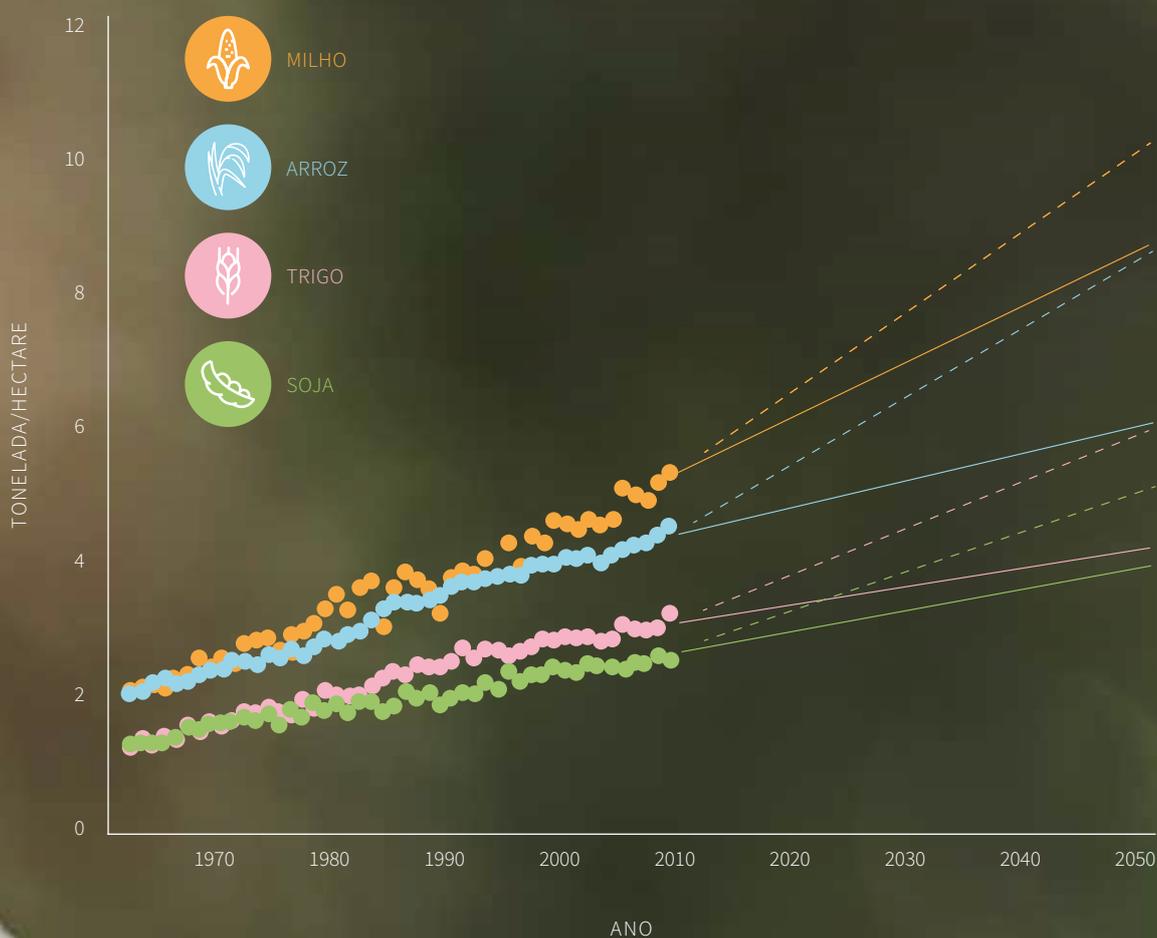
Portanto, se não intensificarmos os investimentos em inovações, especialmente em melhoramento genético de plantas não será possível atender às demandas de uma população crescente.

Esses resultados reforçam a urgência de fortalecermos os sistemas de proteção e reconhecimento às inovações em genética e biotecnologia.

A modernização da LPC e o combate à ilegalidade de sementes assumem lugares prioritários na agenda da agropecuária sustentável.

Projeções de crescimento de produtividade no mundo

Fonte: Fonte: Ray, D.K. *et al*, 2013



----- Previsto ————— Necessário*

*aumento de 2,4% ao ano para dobrar a produção até 2050 sem expandir terra.

Segurança e benefícios em xeque

NA CONTRAMÃO do desenvolvimento sustentável e do estímulo à inovação é representada pelo uso de sementes não certificadas ou legalizadas. Dá-se o nome de “sementes ilegais” ou “sementes piratas” para aquelas que não possuem nenhum tipo de certificação ou garantia de procedência, ou seja, produzidas fora do Sistema Nacional de Sementes e Mudas (SNSM), regulamentado pelo Decreto 10.586/2020.

Também são ilegais, as sementes reservadas como material de propagação pelo produtor, sem observar o que determina o Decreto 10.586/2020 e a Portaria 538/2022 – que definem as regras para a produção e a comercialização de sementes no mercado local e para exportação. Assim como também pela Lei de Proteção de Cultivares 9.456/1997, que assegura ao desenvolvedor propriedade de uma determinada cultivar.

Geralmente, as sementes piratas vendidas no mercado informal têm sua comercialização por fornecedores descredenciados e falsificadores. Os materiais chegam sem nota fiscal, sem registro e sem qualquer certificação ou garantia de produtividade. Não efetuam o devido recolhimento de tributos e de royalties, sem garantias, sem documento fiscal e sem responsáveis por eventuais prejuízos.

Na ausência dos padrões de qualidade, além de comprometer a rentabilidade do agricultor, essas sementes representam uma ameaça ao controle de pragas e doenças de todo o sistema agrícola, ao meio ambiente e à economia do país. A estimativa de prejuízos com uso de sementes piratas é na ordem de R\$ 2,44 bilhões/ano no Brasil, decorrentes da falta de pagamentos de royalties, aos impostos que deixam de ser arrecadados e aos prejuízos nas lavouras.

Uma lavoura plantada com semente ilegal é menos resistente a pragas, doenças e adversidades climáticas, demandando maior uso de insumos e recursos naturais. Isso encarece o custo de produção, aumentando o risco de quebra na safra e ameaça o desenvolvimento tecnológico. O agricultor, o meio ambiente e o consumidor ficam todos suscetíveis a riscos e a um futuro de maior insegurança.

De olho no futuro

OS PROGRAMAS de melhoramento genético têm possibilitado ganhos expressivos de produtividade nas culturas agrícolas. No Brasil, a introdução de cultivares desenvolvidas tanto pelo setor público quanto privado promoveu uma verdadeira revolução agrícola, adaptando cultivos a diferentes biomas e impulsionando uma transformação guiada pela inovação.

Além de elevar a produção, o melhoramento genético contribuiu significativamente para o avanço do conhecimento sobre sistemas agrícolas em clima tropical e subtropical. Contudo, os crescentes desafios climáticos impõem novas adversidades, exigindo um esforço conjunto para intensificar esses programas. Será crucial utilizar todas as ferramentas genéticas disponíveis para desenvolver rapidamente uma ampla diversidade de sementes e mudas com alto rendimento e resiliência climática.

O desenvolvimento de plantas capazes de prosperar em condições ambientais adversas permite mitigar e adaptar a produção agrícola aos impactos das mudanças climáticas. Variedades mais resistentes a estresses abióticos, como seca e salinidade, e a estresses bióticos, como pragas e doenças, além de apresentarem maior eficiência no uso de recursos, como água e nutrientes, contribuirão para um modelo agrícola mais sustentável e resiliente. No entanto, o alto nível de produtividade alcançado por alguns cultivos no Brasil revela que para se alcançar patamares superiores de desempenho, o aprimoramento deverá envolver múltiplos genes, responsáveis por respostas fisiológicas mais complexas das plantas.

Para aproveitar plenamente a riqueza genética das plantas, será essencial o acesso a dados genotípicos e fenotípicos que podem ser relacionados com respostas às mudanças climáticas.

Portanto, uma compreensão aprofundada da fisiologia e biologia molecular das características de tolerância ao estresse abiótico, incluindo a identificação dos genes responsáveis, permitirá direcionar estratégias de avaliação fenotípica e aplicar abordagens de edição de genes e seleção de cruzamentos com maior precisão. Nesse contexto, culturas pouco estudadas e parentes silvestres de espécies cultivadas, negligenciados no passado, deverão receber maior atenção como fontes valiosas de diversidade genética de tolerância ao estresse abiótico.

É evidente que, neste contexto de P&D voltado para soluções climáticas, o fortalecimento de modelos que incentivem o investimento contínuo em melhoramento genético será uma condição prioritária para alcançar o objetivo de produzir mais com menos, beneficiando a todos e preservando recursos para as futuras gerações. ■





Cap. 3

BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA

Inovação para
resiliência climática
e sustentabilidade
no campo



Da antiguidade às inovações que transformam a agricultura

ABIOTECNOLOGIA é tão antiga quanto a própria civilização. Desde a era babilônica, ela já era empregada na fabricação de pães e cervejas, utilizando microrganismos vivos. Com o avanço do conhecimento em áreas como genética, microbiologia, química, fisiologia e biologia, a biotecnologia evoluiu e se consolidou como uma ciência abrangente, que utiliza tecnologias modernas para desenvolver e modificar processos biológicos, organismos, células ou componentes celulares.

Essa evolução impulsionou o desenvolvimento de novos instrumentos clínicos, produtos e tecnologias que têm sido amplamente aplicados em diversas áreas, como pesquisa científica, saúde, indústria, agricultura e produção de energia. Um marco fundamental na biotecnologia moderna foi a introdução da tecnologia do DNA recombinante, que permitiu, pela primeira vez, a manipulação direta do DNA. Essa técnica possibilitou o isolamento e a modificação de genes, abrindo

caminho para importantes avanços, como a produção de insulina humana em 1982, essencial no tratamento do diabetes.

No setor agrícola, a biotecnologia teve um impacto transformador com a adoção das primeiras plantas transgênicas em campo, ocorrida em 1996, nos Estados Unidos. No Brasil, esse marco foi alcançado em 1998, com o início do cultivo de sementes geneticamente modificadas.

Desde então, as culturas transgênicas desempenham um papel fundamental na agricultura moderna, contribuindo para o aumento da produtividade, a redução do uso de insumos químicos e o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis para o setor.



Presentes nas lavouras no mundo há quase 30 anos, as plantas geneticamente modificadas (GM) proporcionam ganhos significativos em produtividade e produção, facilitam o manejo, geram benefícios econômicos e ambientais, além de otimizar o uso de defensivos agrícolas.

No Brasil, a adoção de transgênicos nas lavouras, iniciada há 26 anos com a primeira aprovação de um cultivo GM, representou um marco na história da agricultura. Desde então, o uso de sementes de alta qualidade e o avanço da biotecnologia agrícola têm sido fatores decisivos para o expressivo ganho de eficiência da produção brasileira.

Ao longo dessas décadas, a agricultura no país se desenvolveu de maneira expressiva, consolidando-se como um dos setores mais dinâmicos da economia nacional. A modernização do setor, aliada ao significativo aumento na produção, especialmente de grãos, permitiu ao Brasil se posicionar como um dos maiores exportadores de alimentos do mundo e um dos principais protagonistas do agronegócio global.

Neste contexto, o uso de sementes aprimoradas e o desenvolvimento da biotecnologia destacam-se como os principais impulsionadores para que a agricultura brasileira continue a expandir sua eficiência e competitividade no cenário mundial.

Atualmente, estamos enfrentando o desafio crucial de alimentar uma população crescente em um contexto de mudanças climáticas.

Com isso, os agricultores precisam aumentar a produção de alimentos por unidade produtiva, ao mesmo tempo que conservam os recursos naturais e se adaptam às condições impostas pelas mudanças climáticas.

Um cenário que demanda acesso, em tempo hábil, a produtos oriundos da biotecnologia, reconhecidos como altamente eficazes e sustentáveis. ■

Brasil é o segundo maior produtor de cultivos TRANSGÊNICOS no mundo

OS PRODUTOS da biotecnologia são amplamente adotados no mundo, desde que a insulina passou a ser produzida por microrganismos GM no lugar de sua extração do pâncreas de bovinos e suínos. Muitas enzimas utilizadas em indústrias de alimentos, papel e celulose, têxtil e farmacêutica também são produzidas por microrganismos GM, proporcionando rendimentos mais elevados e agregando valor a diferentes produtos.

Em 1996, a soja transgênica tolerante a herbicida começou a ser cultivada nos Estados Unidos e consolidou, definitivamente, essa tecnologia na agricultura.

O Canadá aprovou a utilização da biotecnologia agrícola quase ao mesmo tempo que os Estados Unidos. Ainda em 1996, a Argentina, começou a adotar a soja transgênica.

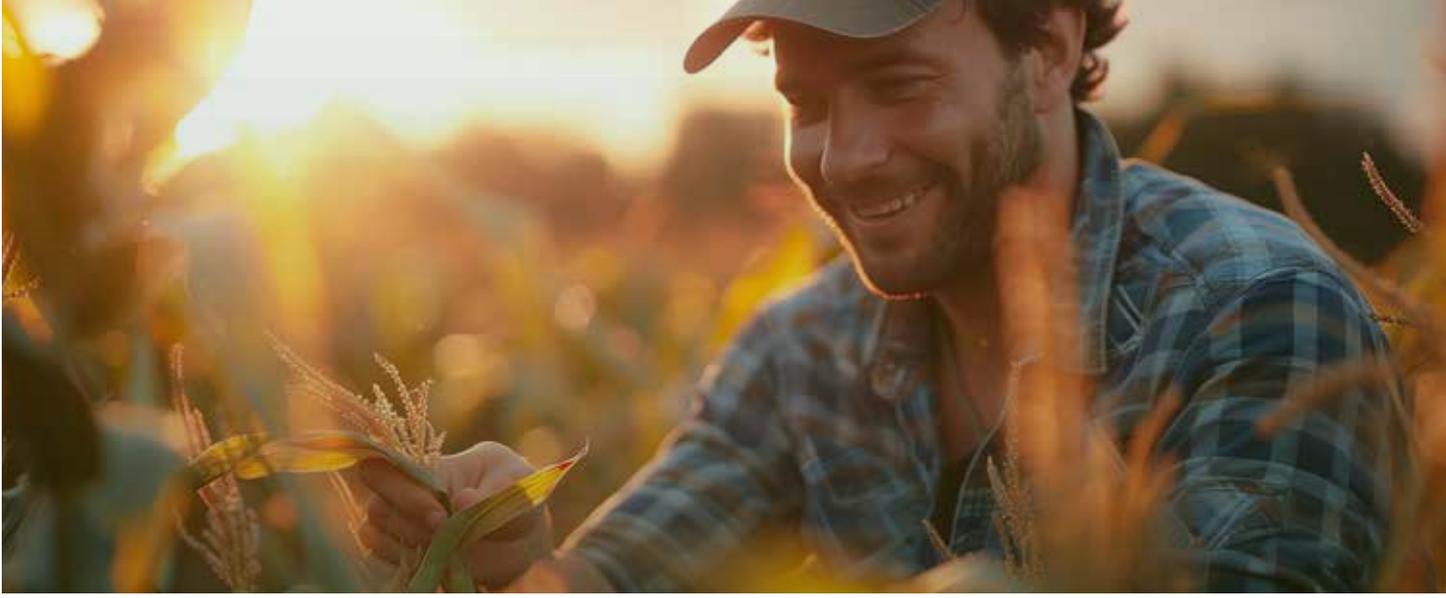
Desde a adoção da soja transgênica tolerante a herbicida nos Estados Unidos, diversos países nos quais a agricultura é um setor fundamental da economia passaram a acompanhar de perto o desempenho das plantas tolerantes a herbicidas.

Isso porque essa característica permite maior flexibilidade no controle de plantas invasoras, possibilitando que a soja desenvolva melhor seu potencial agrônômico.

Alguns anos depois, a transgenia também passou a proteger plantas do ataque de insetos por meio da inserção de um fragmento do DNA da bactéria de solo *Bacillus thuringiensis* (Bt). O microrganismo já era usado há anos em formulações de inseticidas biológicos. No entanto, a biotecnologia incorporou esse benefício à genética de vegetais. Hoje já existem soja, milho, algodão, berinjela e cana-de-açúcar GM que apresentam resistência a insetos.

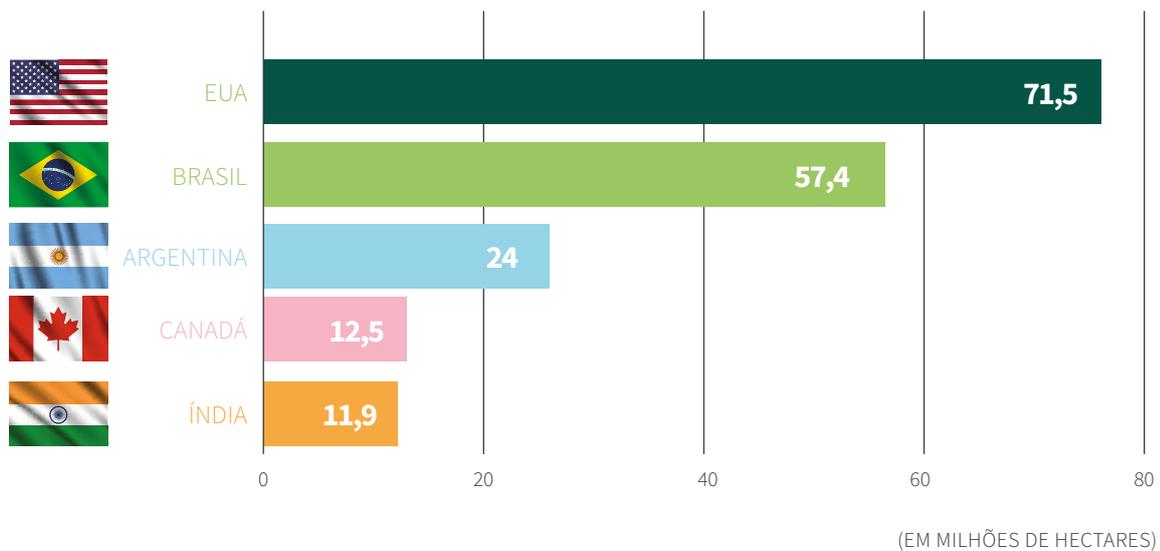
Em todos os países, as características inseridas nos cultivos agrícolas beneficiaram o cotidiano dos agricultores. Com lavouras mais protegidas, o manejo é facilitado e a produtividade aumentada. ■

Por conta disso, as plantas transgênicas representam a tecnologia agrícola de mais rápida adoção da história. Em 1996 eram 1,7 milhão de hectares cultivados no mundo, atualmente são mais de 190,4 milhões de hectares com plantas transgênicas no mundo.



Países com as maiores áreas de adoção de TRANSGÊNICOS no mundo

Fonte: ISAAA, 2019, CropLife, 2023



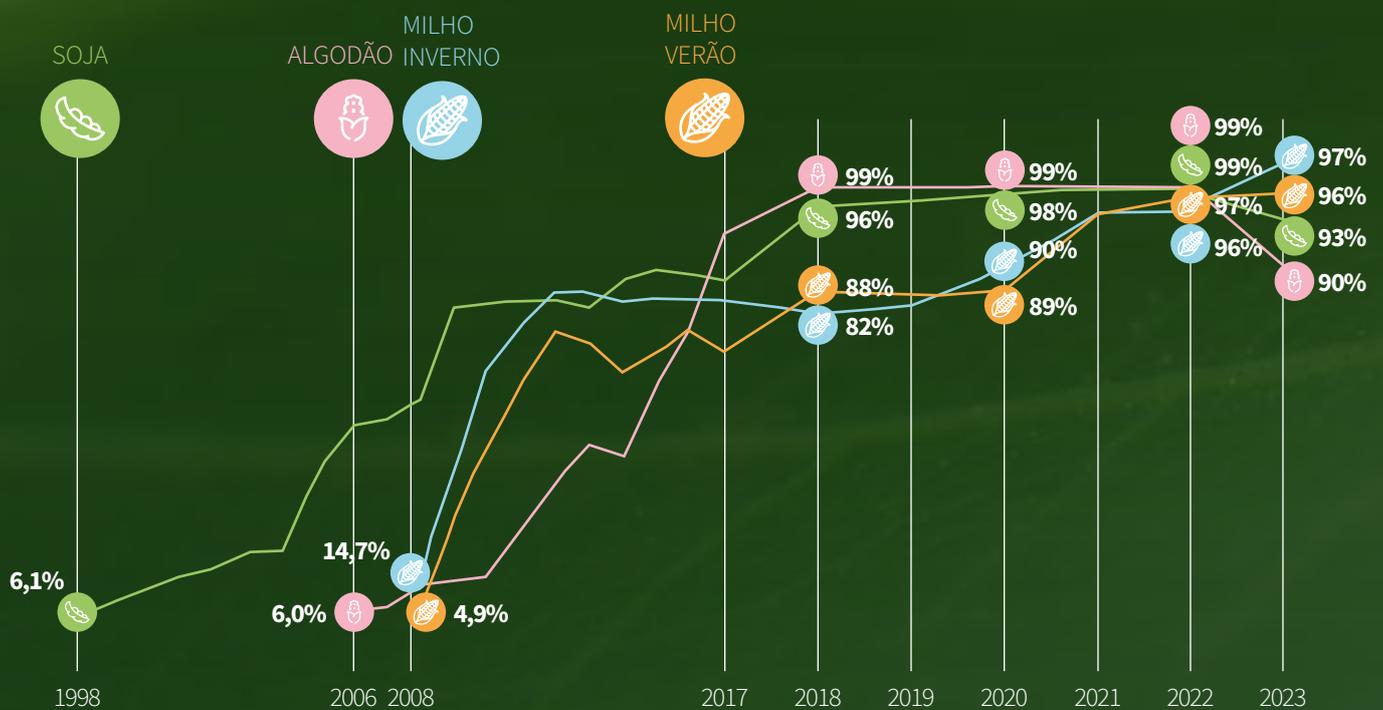
O maior produtor mundial de culturas transgênicas é os Estados Unidos (EUA), com 71,5 milhões de hectares.

Os benefícios das tecnologias incluídas nas sementes aprimoradas pela biotecnologia ficam evidentes pelas elevadas taxas de adoção no campo – 99% para soja; 97% para milho inverno ou safrinha; 98% para milho verão e 99% para o algodão, na safra 2022/23. ■

O Brasil ocupa o segundo lugar em área de cultivo de plantas GM do mundo com mais de 57 milhões de hectares distribuídos em lavouras de soja, milho, algodão e cana-de-açúcar – esta última começou a ser plantada em 2018.

Adoção de culturas TRANSGÊNICAS no Brasil

Fonte: Céleres, Spark, Kynetec



Regulamentação de excelência impulsiona avanço multisetorial da biotecnologia no Brasil

A **PRIMEIRA** Lei de Biossegurança (Lei nº 8.974) foi promulgada em 1995, permitindo o avanço científico e técnico em biotecnologia para muito além das universidades e institutos de pesquisa no Brasil.

Com o objetivo de regular todas as atividades relacionadas à biotecnologia e garantir sua segurança baseada em aspectos da ciência, a lei instituiu a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio).

A partir daí a CTNBio passou a prestar apoio técnico consultivo e de assessoramento ao Governo Federal em questões relacionadas aos Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) e derivados.

No entanto, a Lei 8.974 conflitava com a Lei do Meio Ambiente, gerando uma instabilidade jurídica. Esse cenário mudou em 2005, com a reformulação da Lei de Biossegurança, que conferiu o dinamismo necessário à CTNBio e reforçou o seu caráter técnico nas questões relacionadas aos OGMs (termo adotado na lei para caracterizar qualquer organismo que tenha tido seu material genético modificado por técnicas de DNA/RNA recombinante).



Lei de Biossegurança

1995

Política Nacional do Meio Ambiente

Cada OGM* deve ser analisado separadamente. Lei específica.



2004

TRF** decide que a Lei específica se sobrepõe a Lei Geral.



2005

Nova Lei de Biossegurança

Estabelece padrões de segurança e mecanismos de fiscalização



*Organismo Geneticamente Modificado

**Tribunal Regional Federal

A Lei de Biossegurança vigente (Lei nº 11.105) harmonizou o ambiente institucional e é reconhecida como uma das mais rigorosas e completas do mundo.

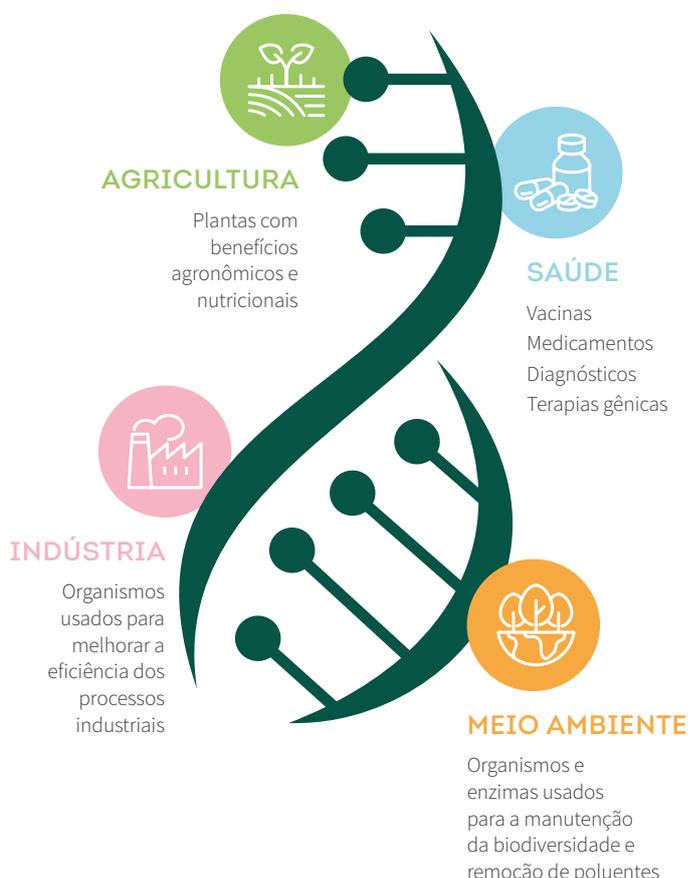
Ao estabelecer que a CTNBio é um órgão colegiado multidisciplinar, composto por especialistas das áreas vegetais, ambientais, de saúde humana e animal, bem como representantes dos Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação; da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Saúde; Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços; Ministério da Defesa; Secretaria de Aquicultura e Pesca, Agricultura Familiar e Ministério das Relações Exteriores

assegura a capacidade técnica e imparcialidade da CTNBio para deliberar sobre a segurança dos OGM para saúde humana, animal, vegetal e ambiental. A implementação da Lei 11.105 promoveu avanços multissetoriais na biotecnologia no Brasil, entregando produtos para a agricultura, indústria, saúde e meio ambiente.

Dentre as mais de 300 aprovações da CTNBio, identificamos uma diversidade de culturas

agrícolas como soja, milho, algodão, feijão, eucalipto, cana-de-açúcar e trigo; vacinas de uso veterinário e humano, incluindo a vacina contra Covid-19; medicamentos, terapias celulares e gênicas; microrganismos para uso na indústria de alimentos e energia (etanol e biodiesel), além de insetos geneticamente modificados como o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor de doenças como dengue, zika vírus e febre chikungunya. ■

Impactos da biotecnologia na sociedade



Com o avanço da ciência, Lei de Biossegurança impulsiona o avanço do melhoramento genético

NAS ÚLTIMAS décadas, com os avanços da ciência e tecnologia, surgiram novas ferramentas de edição genética – como *ZFN*, *TALLEN*, *CRISPR-Cas9* e *RNAi*, introduzindo novas formas de desenvolvimento de produtos GM e de regulamentar os produtos obtidos com o emprego destas inovações.

No Brasil, se estabeleceu uma normativa específica (RN16) que determina que os produtos desenvolvidos usando as novas ferramentas de edição genética sejam submetidos à consulta da CTNBio para se avaliar se o produto é ou não considerado OGM.

Para isso, é necessário fornecer todos os detalhes sobre como o produto foi desenvolvido.

Basicamente, se o produto não tiver DNA ou RNA “estrangeiro” nas gerações seguintes ou apresentar características que poderiam ser alcançadas por cruzamentos (como em plantas), ou mutações que podem surgir naturalmente, podem ser classificados como não-OGM. Por outro lado, se o produto tiver inserções de transgenes, será considerado OGM. Se for determinado que o produto não é um OGM, pode ser registrado nos órgãos como um produto convencional, como no MAPA (para plantas e vacinas animais) ou na Anvisa (para produtos de saúde humana). Mas, se for classificado como OGM, o processo deverá atender a todas as exigências de biossegurança, e o produto só será liberado após a avaliação de risco, como previsto na Lei de Biossegurança 11.105/05. ■



Com a biotecnologia agrícola se produz mais com menos

DESDE a primeira comercialização dos cultivos transgênicos, os pesquisadores têm analisado os impactos econômicos e socioambientais dessas tecnologias.

Mais de 25 anos de pesquisa revisada por pares sobre cultivos GM adotados em diversos países demonstram que essas tecnologias contribuem significativamente para o aumento de produtividade e, ao mesmo tempo, para a redução do uso de insumos químicos, como herbicidas e inseticidas.

Como resultado, os cultivos GM têm gerado maiores rendas agrícolas globais e, simultaneamente, promovido práticas de manejo de terra mais sustentáveis, reduzindo as emissões dos gases de efeito estufa (GEE), preservando terra, biodiversidade e proporcionando benefícios sociais.

A agricultura sustentável se tornou desafiadora devido às mudanças climáticas, ao aumento da população e à redução de terras aráveis. Há uma necessidade de desenvolver culturas modificadas com maior produtividade, quali-

dade e tolerância a vários estresses bióticos e abióticos. A modificação genética de culturas permitiu o desenvolvimento de sistemas de produção eficientes que forneceram benefícios substanciais aos produtores e à comunidade com base nos três princípios da agricultura sustentável, como proteger o meio ambiente, melhorar a saúde humana e a economia.

Benefícios ambientais

PRESERVAÇÃO DE ÁREA

Considerando o diferencial de produtividade entre os sistemas que adotam a biotecnologia e os que não a utilizam, a preservação de área e biodiversidade é observada na menor extensão de área plantada para se obter os índices de produção alcançados.

Para que mantivéssemos o nível de produção observado nas áreas que adotaram transgênicos no Brasil nos últimos 25 anos, deveríamos plantar 21,4 milhões de hectares adicionais no país entre 1998 e 2022/23.

Para efeitos de comparação, essa área equivale ao dobro do total da área de soja plantada no estado de Mato Grosso em 2020.

Ao observarmos a produção e área plantada das três culturas ao longo dos últimos 25 anos, verificamos que, a partir da introdução da biotecnologia agrícola, a produção cresce em ritmo mais acentuado que a área plantada.

No caso da soja, a partir da introdução da transgenia, enquanto a produção aumentou quase 300%, a área cresceu apenas 170%. Para o milho, a produção aumenta 75% e a área 18%. No algodão a produção é incrementada em 23% e a área somente em 7,5%.

Economia de área plantada (mil ha)

Fonte: Agroconsult, 2023

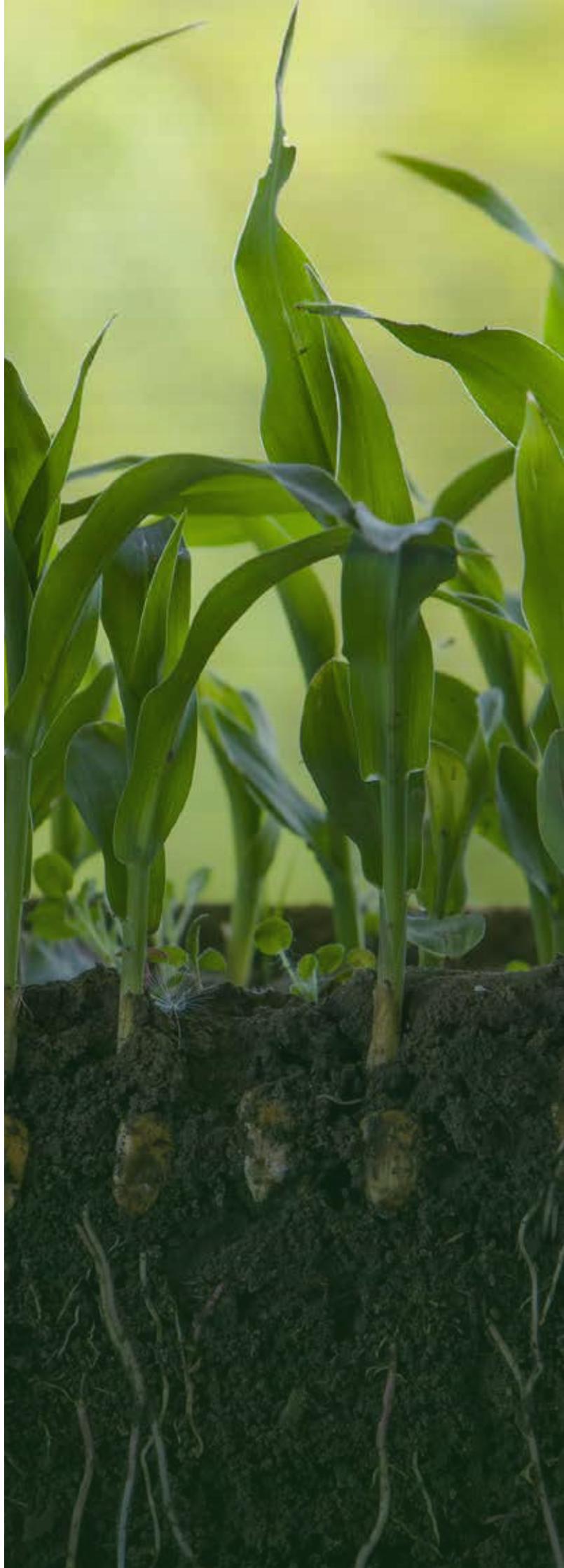


REDUÇÃO NO USO DE DEFENSIVOS

Outro efeito importante da biotecnologia está relacionado à diminuição da quantidade de defensivos utilizados para o controle de pragas.

A adoção de culturas transgênicas promoveu redução na dosagem aplicada de defensivos por hectare (incluindo adjuvantes relacionados) de até 60,5% para soja, de 18,8% para milho verão, de 16,1% para milho inverno e de 40,9% para algodão ao longo dos 25 anos de cultivo no Brasil. No total, o cultivo de plantas transgênicas contribuiu para redução da utilização de 1.597 mil toneladas de defensivos, o que corresponde à exclusão do ambiente de 808 mil toneladas de ingredientes ativos usados para o controle de pragas-alvo da tecnologia.

Esse montante corresponde ao dobro do volume total de defensivo (inseticida + herbicida) aplicado no ano de 2021 em todo o Brasil.



REDUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS

A redução da aplicação de defensivos também influencia na utilização do maquinário para pulverização desses produtos, impactando no consumo de combustível. Em 25 anos de adoção de transgênicos, se observou uma economia de 565 milhões de litros de combustível, o que equivale à retirada de circulação de 377 mil carros das ruas por um ano.

Quantidade de carros correspondente à frota de automóveis da cidade de Campo Grande/MS. Desse valor, 62% são referentes à soja, 36% ao milho e 3% ao algodão.

REDUÇÃO NAS EMISSÕES DE CO₂

Os benefícios combinados de redução de maquinário para aplicação de defensivos e da economia de área cultivada impactam diretamente nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes do plantio de cada uma das culturas.

A redução de emissões chega a 70,4 milhões de toneladas de CO₂, o que equivale ao plantio de 504 milhões de árvores nativas.

Além disso, as sementes GM contribuem para a adoção de plantio direto, onde a semeadura é feita sobre a palhada do cultivo anterior sem revolvimento do solo. A prática é reconhecida como conservacionista, pois preserva os microrganismos, umidade e o carbono do solo. A comparação das emissões de CO₂ entre solos arados e não arados revelou que, em média, 21% mais carbono é emitido dos solos arados do que dos não arados.

PRESERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Em função do aumento de produtividade, os cultivos transgênicos economizam área, reduzindo a necessidade de expansão de terras e contribuindo com a preservação da biodiversidade.

Além disso, o plantio direto, intensificado com o uso de sementes GM, favorece a biodiversidade do solo e os estudos também mostram que o cultivo de culturas GM pode aumentar a biodiversidade de insetos benéficos não-alvo, devido à redução de uso de inseticidas nas culturas resistentes a pragas.

REDUÇÃO NO CONSUMO DE ÁGUA

Analisando o consumo de água apenas em relação às safras de 2018/19 até 2022/23, já se observa que a biotecnologia promove economia expressiva do recurso hídrico.

10,4 bilhões de litros de água não foram utilizados nos cultivos transgênicos quando comparados às lavouras convencionais, no período de apenas quatro anos.

Valor esse que equivale a oito vezes o consumo diário de água da população da cidade de São Paulo. ■

Impactos ambientais de 25 anos de adoção de TRANSGÊNICOS no Brasil

Fonte: Agroconsult, 2023



Redução do uso de defensivos **1.597** mil toneladas

Redução no uso de ingrediente ativo

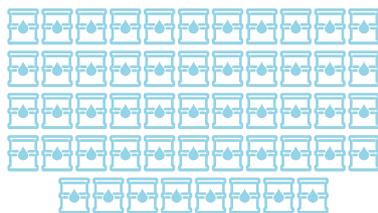
808 mil toneladas

=

Corresponde ao dobro do volume total de defensivos (inseticida + herbicida) aplicado no ano de 2021 em todo o Brasil

=

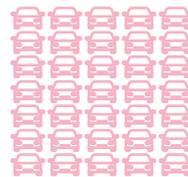
Com essa economia, menos maquinário foi usado, ou seja



Economia de combustível

565 milhões de litros

=



Redução de **377** mil carros por 1 ano

=



Plantio de **504** milhões de árvores nativas



Redução de Defensivos



Redução de Combustíveis



21,4 milhões de hectares de Área Plantada

=



Retirada de **70,4** milhões de toneladas de CO₂ da atmosfera

2x área de soja a ser plantada no Mato Grosso na safra 2020



= 10 milhões de litros



= 10 milhões



= 1 milhão



= 5 milhões



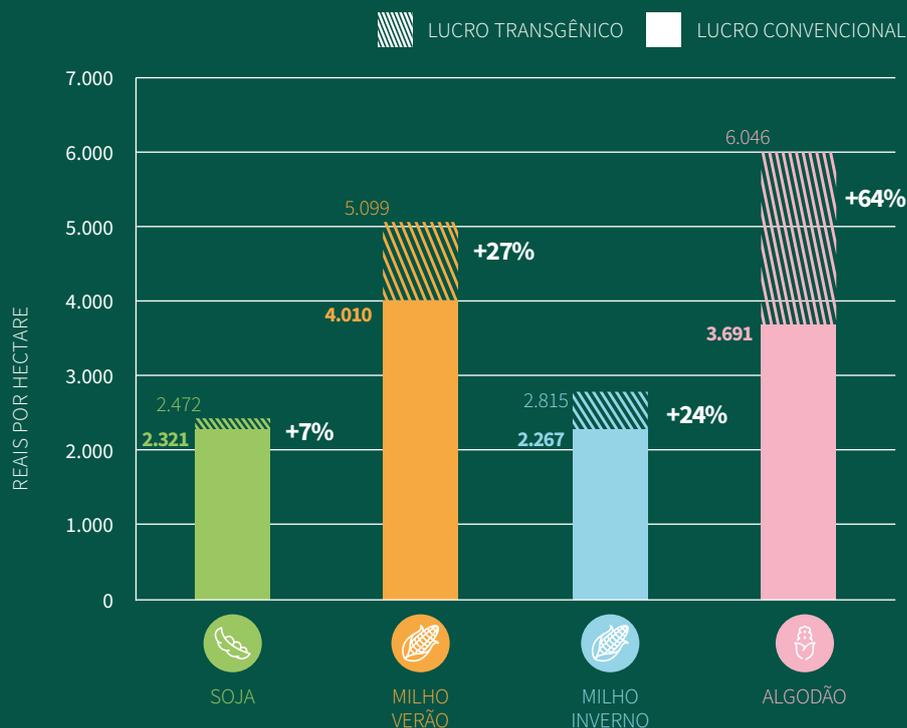
Benefícios econômicos

BENEFÍCIOS FINANCEIROS PARA O PRODUTOR RURAL

A avaliação de impactos econômicos e financeiros para o produtor rural revela que o uso de sementes transgênicas amplia a margem da atividade produtiva. Na safra 2022/23, por exemplo o lucro obtido por hectare da soja transgênica foi até 7% superior ao da variedade convencional. Para o milho verão, o desempenho diferencial registrou valor 27% superior, enquanto, na safra inverno o índice foi de 24%. Para o algodão, sementes transgênicas têm margem 64% superior, considerando apenas a safra (22/23).

Comparativo de lucro entre TRANSGÊNICOS e convencionais em 2022/23 (%)

Fonte: Agroconsult, 2023

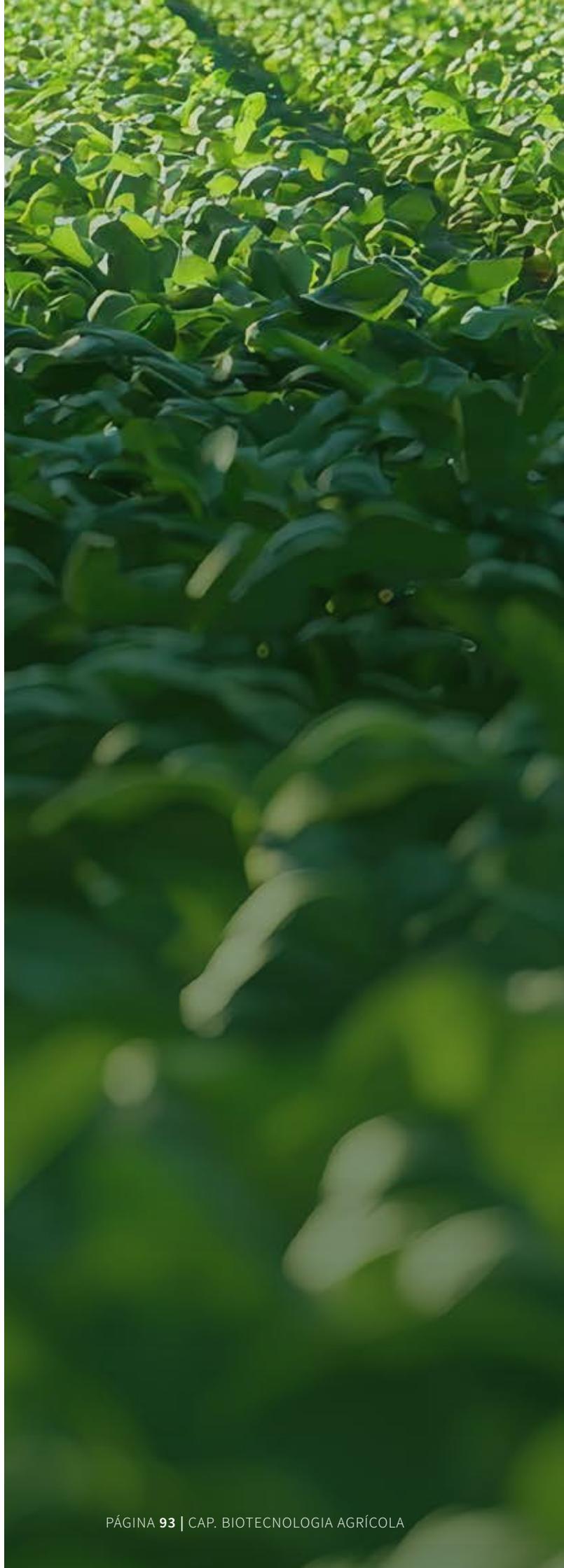


BENEFÍCIOS FINANCEIROS PARA O SETOR AGRÍCOLA

Ao levar em consideração a extensão da área plantada com as tecnologias de resistência a insetos (RI) e tolerância a herbicidas (TH), os impactos no campo são extrapolados para o setor agrícola como um todo.

Os ganhos de produtividade, por exemplo, fizeram com que as sementes transgênicas fossem responsáveis por um volume de produção adicional de 112,3 milhões de toneladas de grãos, sendo 17,5 milhões de toneladas de soja; 93,5 milhões de toneladas de milho e 1,2 milhão de toneladas de algodão.

Esse valor é equivalente a 5 vezes a produção de soja do estado do Paraná na safra 2022/23, sendo esse estado o segundo maior produtor de soja do país, ficando atrás apenas do estado do Mato Grosso.



Impactos para o Setor Agrícola de 25 anos de TRANSGÊNICOS no Brasil

Fonte: Agroconsult, 2023



Considerando o preço médio da soja, milho e algodão em cada safra, o incremento da produção corresponde a uma geração de receita adicional de R\$ 143,5 bilhões para o setor agrícola ao longo dos últimos 25 anos.

Esse montante equivale ao total dos recursos disponibilizados pelo Plano Safra 2022/23 pela modalidade a juros livres. A cultura na qual a biotecnologia foi a responsável pelo maior acréscimo de receita foi a do milho com R\$ 93,4 bilhões. Na sequência, aparecem a soja (R\$ 38,4 bilhões) e algodão (R\$ 11,8 bilhões). ■

Benefícios socioeconômicos

Do ponto de vista do PIB, o ganho decorrente da adoção de 25 anos da biotecnologia nas culturas de soja, milho e algodão representa R\$ 28,4 bilhões.

Desse total, a cadeia da soja contribui com R\$15,1 bilhões, a do milho com R\$12,4 bilhões e do algodão com R\$900 milhões. O benefício da biotecnologia agrícola para um maior dinamismo da atividade econômica do país também pode ser mensurado pela contribuição no valor bruto da produção (VBP).

Entre as safras 1998/99 a 2022/23, o desempenho das variedades transgênicas foi responsável por uma injeção adicional de R\$ 295,7 bilhões na economia.

O incremento na produção de grãos também promove ganhos na balança comercial brasileira e contribui para geração de reservas monetárias. Considerando a participação anual das exportações no total da produção de cada cultura analisada, as lavouras transgênicas proporcionaram um acréscimo de 39,6 milhões de toneladas de produtos agrícolas exportados pelo país (10,7 milhões de toneladas de soja, 27,8 milhões de milho e 1,2 milhões de algodão).

Em termos monetários, isso corresponde a US\$ 20,6 bilhões (R\$ 77,3 bilhões) sem considerar a adição de valor de produtos derivados.

A incorporação da transgenia nas culturas da soja, milho e algodão também contribui com os cofres públicos por meio da arrecadação de impostos.

Estima-se que, ao longo dos anos analisados, R\$ 6,1 bilhões de reais tenham sido arrecadados em função do desempenho diferencial da tecnologia.

Valor similar à metade do total de impostos arrecadados pelo estado de Sergipe em todo o ano de 2021.

Um outro aspecto decorrente da biotecnologia é o número de postos adicionais de trabalho vinculados exclusivamente aos ganhos de produtividade proporcionados pelos transgênicos ao longo das últimas duas décadas.

Foram 196.853 empregos adicionais gerados (104.744 devido aos ganhos na cadeia da soja, 84.846 na do milho e 7.263 na do algodão).

Isso ocorre porque o setor agrícola é um propulsor de atividade econômica e, ao gerar renda, acaba por estimular não apenas o próprio setor, como também os fornecedores de insumos, prestadores de serviços, setor de construção civil, comércio, etc.

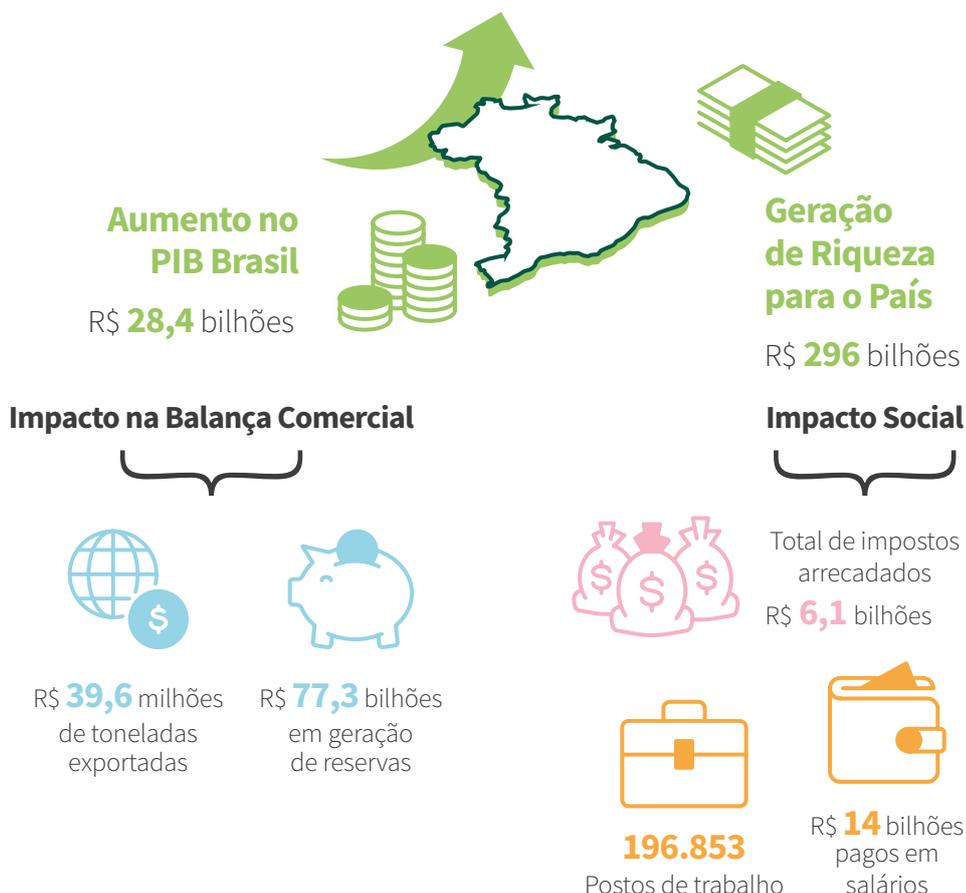
Ainda diretamente relacionado ao processo de geração de emprego, outro benefício para a sociedade pode ser medido pelo montante de salários pagos aos trabalhadores.

Ao longo dos últimos 25 anos, a tecnologia propiciou um incremento de R\$ 14 bilhões na massa salarial – ou 11,6 milhões de salários-mínimos pagos.

Desse total, 39% decorrem dos efeitos dos transgênicos na cadeia da soja, 56% pelos benefícios na cadeia do milho e 5% pela cadeia de algodão. ■

Impactos socioeconômicos de 25 anos de adoção de TRANSGÊNICOS no Brasil

Fonte: Agroconsult, 2023



Benefícios em xeque: diferenças regulatórias entre os países retardam acesso às inovações no campo

Os benefícios da biotecnologia na agricultura, no meio ambiente, na economia e na qualidade de vida da população, reforçam a necessidade de incluir esse tema como parte de uma agenda estratégica para o avanço da sustentabilidade agrícola do Brasil.

DE FATO, para apoiar os produtores na superação dos desafios da agricultura tropical, é fundamental investir em pesquisa e desenvolvimento de inovações em biotecnologia.

Entretanto, para que essas soluções sejam disponibilizadas de forma segura e sustentável, é essencial que exista um sistema regulatório eficiente, robusto e alinhado entre países produtores e consumidores. Afinal, um sistema regulatório pode, dependendo de sua estrutura, tanto incentivar quanto inibir a inovação.

As aprovações assíncronas resultam em atrasos no lançamento comercial de novas biotecnologias em países como o Brasil, impedindo

que os agricultores tenham acesso rápido a essas inovações após a liberação pela CTNBio.

O Brasil conta com um sistema regulatório maduro e baseado em ciência, com mais de 25 anos de experiência. Contudo, o cenário regulatório global é complexo, marcado por aprovações assíncronas de plantas desenvolvidas pela biotecnologia, o que gera variações significativas no tempo necessário para aprovar novos produtos em diferentes países.

A disparidade nas aprovações pode causar perturbações comerciais, mudanças nos padrões de comércio internacional e perdas econômicas substanciais, além de inibir a inovação e a adoção mais ampla de biotecnologias.

Ademais, resulta na perda dos benefícios diretos e indiretos da biotecnologia, como ganhos de produtividade que promovem a preservação de áreas e a proteção da biodiversidade.

GESTÃO RESPONSÁVEL DA BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA EVITA INTERRUPÇÕES COMERCIAIS

Para auxiliar na prevenção de interrupções comerciais, as empresas e instituições que desenvolvem produtos de agrobiotecnologia não comercializam seus produtos antes da sua aprovação em países importadores, em conformidade com o programa *Excellence Through Stewardship (ETS)*.

O ETS estabelece, audita e certifica a gestão responsável e sistemas de manejo da qualidade de um produto de biotecnologia agrícola durante todo o seu ciclo de vida, do desenvolvimento, comercialização, até eventuais descontinuidades.

Ciclo de vida de um produto de biotecnologia agrícola



25 ANOS DE CONHECIMENTOS EM BIOSSEGURANÇA DEVEM IMPULSIONAR DIÁLOGO TÉCNICO BILATERAL

Uma oportunidade para promover a sincronia nas aprovações de cultivos desenvolvidos pela biotecnologia agrícola está no conhecimento acumulado em biossegurança, por mais de 25 anos, do sistema regulatório brasileiro.

A experiência de análise e avaliação de pesquisas e desenvolvimento de plantas de diversas culturas e características, seguindo normas internacionais de biossegurança de forma previsível e transparente, consolidou o marco em biossegurança e conferiu robustez de informações a centenas de profissionais das diversas áreas da ciência engajados na Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio).

Desta forma, o intercâmbio entre reguladores e a cooperação regulatória internacional representam uma estratégia que deve ser estimulada junto aos mercados importadores de produtos agrícolas do Brasil.

Inclusive, o *Codex Alimentarius*, que direciona a construção da maioria dos sistemas regula-

tórios para culturas GM, afirma que “quando apropriado, os resultados de uma avaliação de risco realizada por outras autoridades regulatórias podem ser usados para evitar a duplicação de trabalho.”

Com base nesta declaração o compartilhamento da ciência entre geografias para harmonizar regulamentações globais e requisitos de dados pode representar um passo importante na superação dos desafios resultantes das aprovações assíncronas.

Considerando a crescente importância das exportações brasileiras para a China, que desempenham um papel crucial na segurança alimentar do país asiático e na sustentação da expansão do agronegócio nacional, faz-se necessário e urgente o fomento do diálogo técnico bilateral entre Brasil e China.

Neste contexto, a experiência regulatória brasileira em biotecnologia tem muito a contribuir para o avanço de práticas regulatórias em países que importam alimentos e fibras do Brasil. Esse alinhamento entre países importadores e exportadores é vital para o fornecimento mais ágil e sustentável de soluções inovadoras para a agricultura, permitindo que o Brasil continue a liderar uma produção agrícola moderna e comprometida com a sustentabilidade. ■

Biotecnologia agrícola fornece estratégias para mitigar e melhorar a adaptação às mudanças climáticas

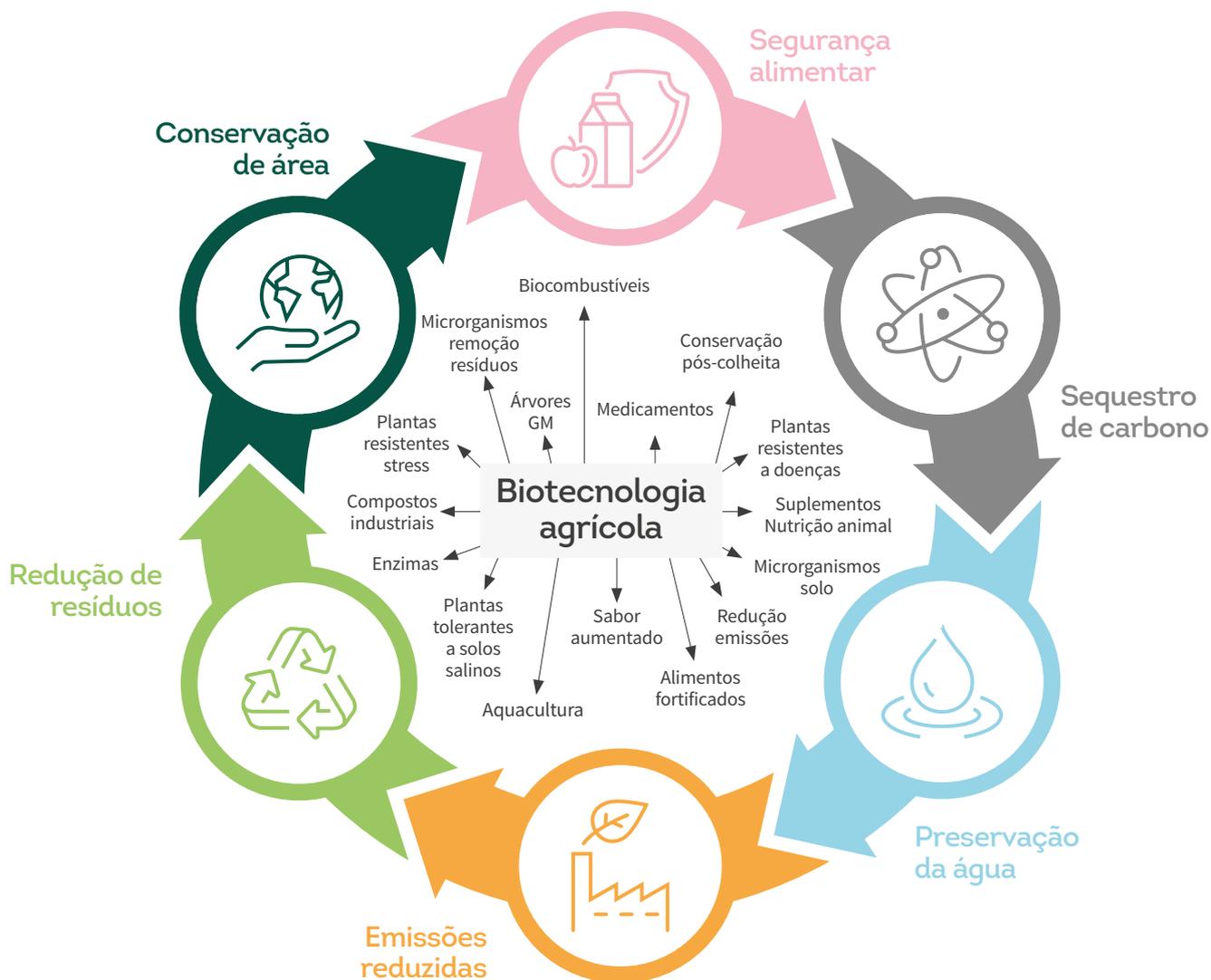
A biotecnologia agrícola é utilizada nos setores de alimentos e agropecuária para melhoramento genético de variedades de plantas e populações de animais, caracterização e conservação de recursos genéticos, diagnóstico de doenças de plantas e animais e outros propósitos.

ELA OFERECE várias abordagens baseadas na ciência para mitigar a insegurança alimentar global e os impactos das mudanças climáticas, ambos os quais estão acelerando em um ritmo alarmante. Foi estimado há quase uma década que a produção global de alimentos deve ser dobrada até 2050 para atender às necessidades da população em crescimento. Além disso, a pandemia de COVID-19 e os conflitos geopolíticos ameaçaram

seriamente a segurança alimentar em todo o mundo.

Neste contexto, os produtos da agrobiotecnologia podem contribuir para a redução das emissões de GEE, como cultivos que fornecem alimento e matéria-prima para a produção de biocombustíveis, frutas e hortaliças que permanecem frescos por mais tempo e reduzem o desperdício de alimentos.

Os agricultores podem adotar culturas biotecnológicas mais resilientes a fatores ambientais como seca, calor e inundações. Até o presente, as plantas mais amplamente modificadas no mundo (em termos de volume aprovações) são milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max L.*), algodão (*Gossypium hirsutum L.*), batata (*Solanum tuberosum L.*) e canola (*Brassica napus*). Entre elas, as características mais amplamente utilizadas são tolerância a herbicidas (TH) e resistência a insetos (RI), seguidas por qualidade de produto, resistência a doenças, tolerância a estresse abiótico, crescimento/rendimento e resistência a nematoides.



Globalmente, as culturas GM têm o potencial de reduzir tanto o uso de pesticidas quanto os danos ao solo (decorrentes do cultivo de plantas resistentes a doenças, tolerantes a herbicidas e ao estresse e com benefício nutricional) ao mesmo tempo que reduzem as emissões de GEE. Por meio da adoção de culturas GM (TH e RI) na agricultura, se verificou uma redução significativa na quantidade total de pesticidas

usados (em 775,4 milhões de quilogramas, ou 8,3%) entre 1996 e 2018. Como consequência, o impacto ambiental desses produtos químicos diminuiu em 18,5%. Além disso, os cultivos GM promoveram diminuição na liberação de 23 bilhões de Kg de CO₂ equivalente.

Um dos mais importantes objetivos dos cultivos GM é aumentar a produtividade sem expandir a pegada agrícola.

De fato, sem o uso da biotecnologia agrícola, para manter a produção global nos níveis de 2018 sem a biotecnologia, seria necessário adicionar 231 milhões de hectares de soja, milho, algodão e canola, provavelmente às custas das florestas, levando à intensificação da emissão de CO₂ e contribuindo ainda mais para as mudanças climáticas.

As culturas GM têm um grande potencial e, provavelmente farão contribuições críticas para a segurança alimentar e adaptação às mudanças climáticas. Além de ajudar a mitigar e se adaptar às mudanças climáticas, a aplicação da biotecnologia agrícola pode ajudar a promover a sustentabilidade dos sistemas alimentares, promovendo aumento da produtividade e uso inteligente de recursos naturais em uma agricultura conduzida de forma harmoniosa com os ecossistemas e com a biodiversidade.

Boas práticas são essenciais para a sustentabilidade dos benefícios das biotecnologias no campo

OS BENEFÍCIOS econômicos, sociais e ambientais da biotecnologia agrícola podem ser totalmente afetados pela falta de boas práticas agrícolas que incluem, o uso de sementes não certificadas e a falta de refúgio nas lavouras Bt.

A utilização de sementes de baixa qualidade, sem certificação adequada, não viabiliza os resultados esperados das características oriundas da biotecnologia.

Além disso, essas sementes podem conter impurezas físicas, como material inerte e con-

taminantes, misturas genéticas indesejadas, comprometendo o desempenho fisiológico das plantas.

Sem controle de qualidade rigoroso, essas sementes também podem estar contaminadas com patógenos e plantas daninhas, aumentando os custos de controle e potencialmente reduzindo a produtividade.

Outra ameaça à biotecnologia agrícola é o fato de que nos últimos anos, tem-se observado um aumento na população de insetos-alvo resistentes às toxinas Bt introduzidas nos cultivos

resistentes a insetos. Um fenômeno biológico natural e esperado. Mas, que coloca em xeque a eficácia das biotecnologias no controle dessas pragas.

Como o ganho de produtividade proporcionado pelas sementes RI está diretamente relacionado à redução do risco produtivo, a perda de eficácia tende a impactar negativamente o desempenho das lavouras, reduzindo o diferencial de produtividade e exigindo a aplicação de outros defensivos para o controle dos insetos. Dessa forma, os benefícios econômicos, sociais

e ambientais oferecidos pela tecnologia ficam ameaçados e podem até ser perdidos com o tempo.

Para enfrentar essa situação, as empresas têm investido na pesquisa para aprimorar a expressão de genes Bt, permitindo que as plantas produzam doses mais elevadas das toxinas e no desenvolvimento de novos cultivares que incorporam múltiplos genes (piramidação), cada um produzindo diferentes proteínas inseticidas, com modos de ação distintos e independentes. ■

Adoção de áreas de refúgio são fundamentais para a longevidade das tecnologias Bt

MESMO COM esses avanços tecnológicos, a participação ativa dos produtores rurais é fundamental para garantir que os benefícios sejam duradouros no campo.

Para isso, é crucial que os produtores sigam as recomendações de boas práticas no uso da tecnologia, incluindo a adoção do manejo integrado de pragas e, principalmente, a implementação da área de refúgio.

A adoção da área de refúgio é considerada a estratégia mais importante para o manejo da resistência dos insetos.

Seu principal objetivo é reduzir o potencial de evolução da resistência, ajudando a manter a eficácia da tecnologia no controle das pragas ao longo dos anos. Quando o produtor não adota a área de refúgio ou não realiza o manejo adequado, contribui para o aumento



da população de insetos resistentes e para a perda de eficiência no controle das pragas-alvo, gerando externalidades negativas para os demais produtores da região, incluindo aqueles que adotam corretamente a prática do refúgio. Em última análise, esse comportamento compromete os benefícios dos avanços tecnológicos, prejudicando os resultados da atividade agrícola, da economia e do meio ambiente.

***O caminho a ser seguido
no futuro depende das
ações de agora.***

% recomendada de área para refúgio com plantio de tecnologias não *Bt*

Fonte: Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)



10%



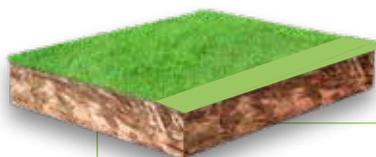
20%



20%



20%



Refúgio

Fonte de insetos suscetíveis



Mantém a frequência de insetos resistentes baixa



Previne ou retarda o estabelecimento da resistência no campo



Preserva as Tecnologias *BT*

Ou consolidamos os benefícios que a tecnologia pode gerar, ou arriscamos perder essas vantagens, impactando negativamente os resultados dos produtores, a economia e o meio ambiente. ■



De olho no futuro

À MEDIDA que a biotecnologia avança, o futuro da agricultura caminha para atender demandas cada vez mais complexas e essenciais. Até o momento, os maiores esforços se concentraram em características como resistência a insetos e tolerância a herbicidas. Contudo, a necessidade de adaptação aos novos desafios climáticos, de segurança alimentar e energética traz à tona novas fronteiras para a inovação no campo.

Tecnologias emergentes, como a edição gênica, abrem portas para o desenvolvimento de cultivos mais resilientes, capazes de prosperar em condições extremas, como seca e altas temperaturas.

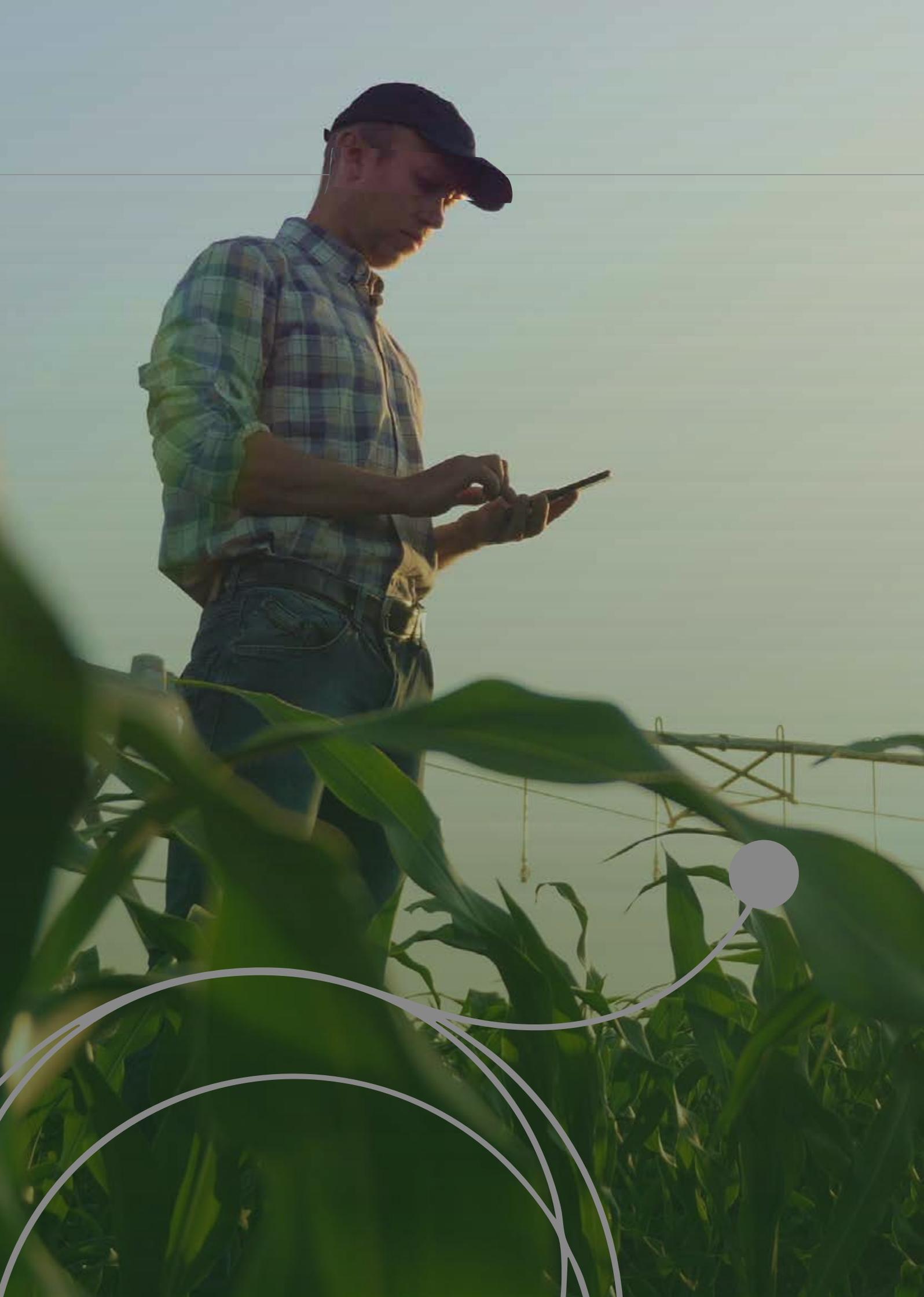
Além disso, pesquisas apontam para a criação de variedades com maior valor nutricional, ofe-

recendo alimentos mais completos e saudáveis para os consumidores, assim como plantas que maximizem a produção de biomassa e contribuam para a matriz energética sustentável.

Esses novos caminhos refletem um setor comprometido em atender, de forma sustentável, às demandas de uma população em crescimento, fortalecendo tanto a agricultura quanto a segurança alimentar global. Assim, a biotecnologia agrícola não apenas responde aos desafios atuais, mas se posiciona como uma aliada indispensável na construção de um futuro mais sustentável e próspero para agricultores, consumidores e o meio ambiente.







Cap. 4

DEFENSIVOS QUÍMICOS

Soluções para
a proteção de
cultivos e oferta
de alimentos

Crescimento da demanda por produtos agrícolas e os riscos de perdas no campo

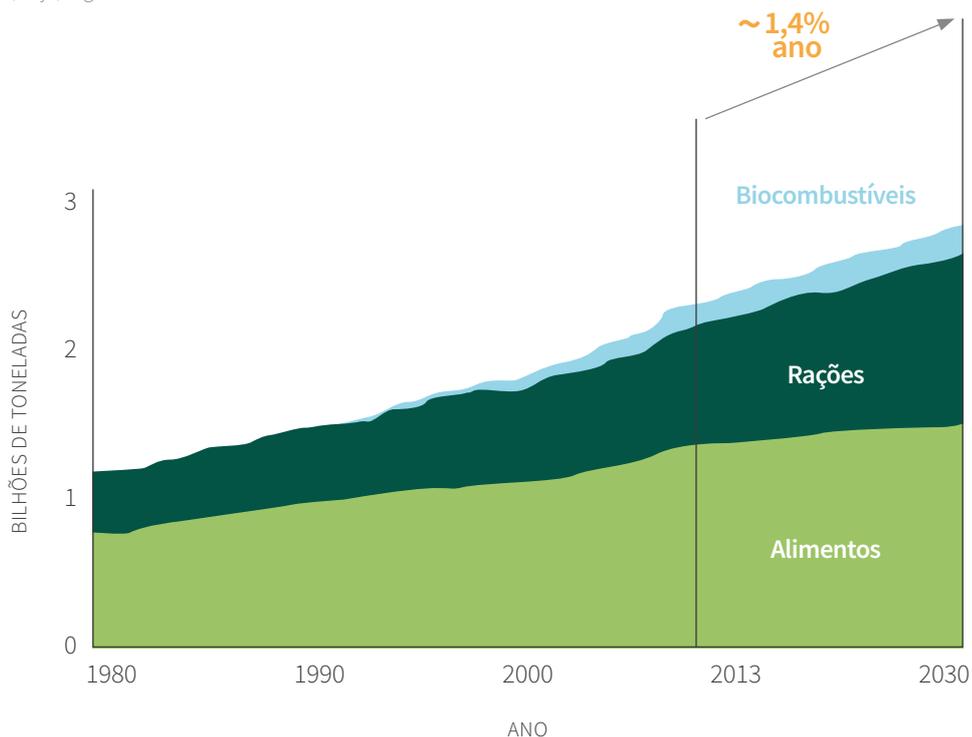
DESDE 1980, a demanda global por produtos agrícolas aumentou quase 90%, passando de 1,2 bilhão para cerca de 2,3 bilhões de toneladas, impulsionada pela crescente necessidade de alimentos e rações. Além disso, os biocombustíveis assumiram um papel mais relevante, devido à sua contribuição na redução das emissões de gases de efeito

estufa (GEE) e à busca por fontes de energia mais sustentáveis. Com o crescimento populacional projetado até 2050, espera-se que a demanda por produtos agrícolas continue a crescer. De acordo com a FAO, será necessário ampliar a capacidade produtiva em pelo menos 50% para atender às necessidades globais.

Demanda global por produtos agrícolas*

Fonte: Food and Agricultural Policy Research Institute, USDA

*Milho, soja, trigo e arroz



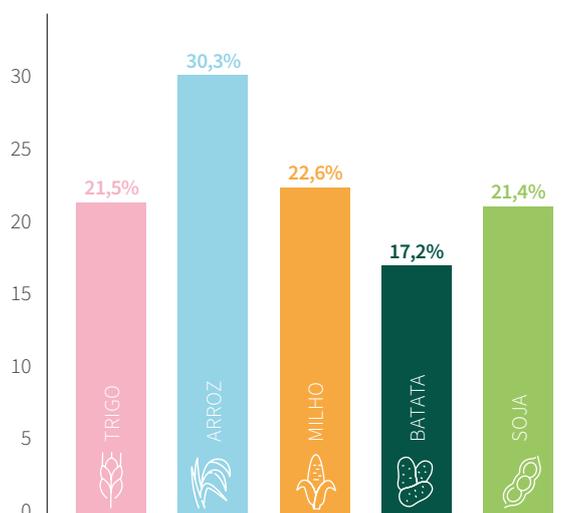
Esse aumento na produção agrícola deve vir acompanhado de soluções eficazes para reduzir perdas causadas por pragas, doenças e desperdícios, que são reconhecidos como desafios significativos para a segurança alimentar.

As perdas globais de rendimento devido a pragas e doenças nas principais culturas alimentares são preocupantes, com médias variando de 21,5% para o trigo, 30,3% para o arroz, 22,6% para o milho, 17,2% para a batata e 21,4% para a soja.

As perdas reforçam a necessidade de adoção de estratégias robustas de manejo para garantir a produtividade e a sustentabilidade da agricultura global. Além disso, as mudanças climáticas tornam esse cenário ainda mais desafiador. Os insetos-praga, doenças e plantas daninhas podem ser afetados em sua sobrevivência, disseminação e reprodução, intensificando suas ações sobre os cultivos.

Perdas de rendimento por pragas e doenças (médias)

Fonte: Savary, et al, 2019



Nesse contexto, as soluções para o controle de pragas e doenças precisarão ser ainda mais eficientes.

A oferta de defensivos agrícolas deverá ser ampliada, enquanto a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) de novos produtos, em conjunto com tecnologias de aplicação e gestão, deverão assegurar a resiliência e produtividade das culturas, garantindo alimentos em quantidade e qualidade suficientes, com o mínimo impacto ambiental possível.

As estratégias de controle de pragas e doenças não são representadas apenas por defensivos químicos. Elas englobam uma variedade de abordagens complementares, incluindo a rotação de culturas, que envolve o planejamento de cultivos e colheitas para reduzir a incidência de pragas; o uso de bioinsumos e a adoção de variedades de plantas com resistência genética

ou tolerância a pragas. No entanto, considerando que os defensivos químicos possuem múltiplos usos nos setores de produção, contemplando desde a proteção das sementes, os ciclos do cultivo, o armazenamento e o beneficiamento de produtos agrícolas, são reconhecidos como um dos mais importantes insumos para a agricultura. ■

DEFENSIVOS QUÍMICOS contribuem com a maior oferta de alimentos

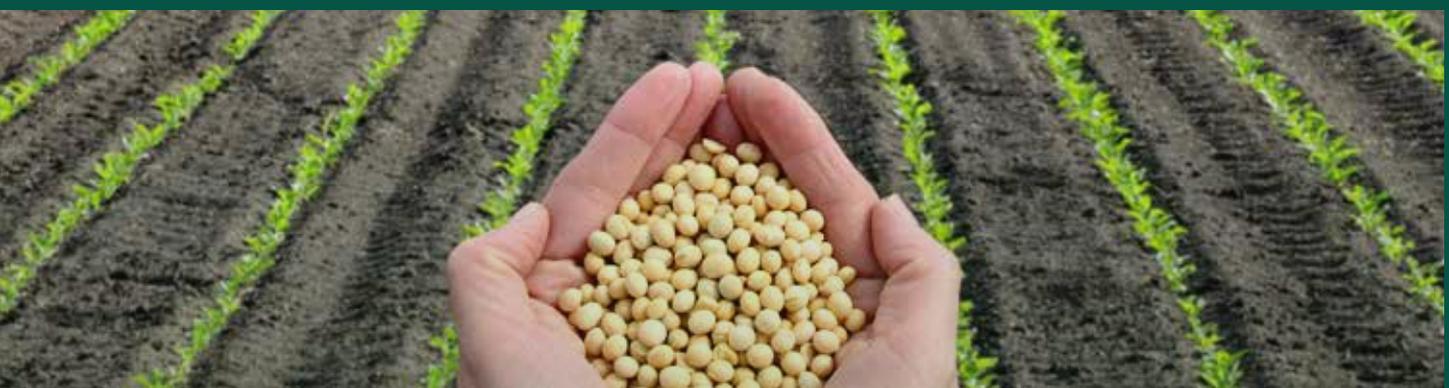
NAS ÚLTIMAS décadas, os defensivos químicos desempenharam um papel crucial na proteção dos cultivos contra pragas e doenças, contribuindo significativamente para o aumento da produção agrícola por área plantada.

Essa abordagem permitiu reduzir a necessidade de expansão de terras e elevar a oferta de alimentos a preços acessíveis para a população.

De fato, o controle de pragas e doenças e a oferta de nutrientes permitem a expressão da

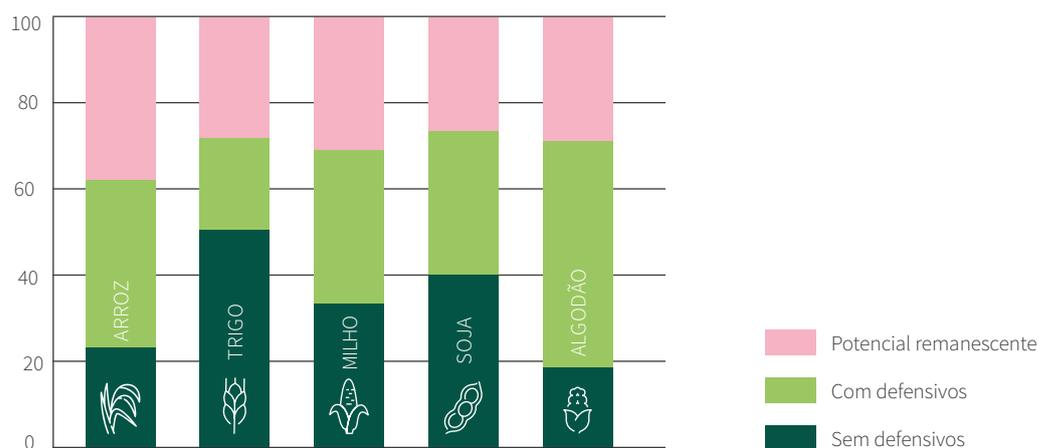
potencialidade genética das diversas culturas agrícolas. Sem o uso de produtos para o controle de insetos-praga, doenças e plantas daninhas, bem como de soluções de nutrição vegetal, a FAO/OCDE estima que as perdas na produção agrícola oscilem entre 50% e 80%.

Inclusive, é importante observar a contribuição dos defensivos químicos nas produtividades de diferentes culturas. Por mais que o desempenho varie expressivamente de uma região para outra, os benefícios são evidentes. Esses insumos contribuem com a redução das perdas por doenças, competição por nutrientes com plantas daninhas e ataque de pragas, permitindo a maior produção por área de cultivo.



Contribuição dos DEFENSIVOS QUÍMICOS na produtividade

Fonte: Phillips McDougall, 2017



Ganhos de eficiência no manejo de lavouras transformaram a agricultura

UMA GRANDE variedade de plantas daninhas compete com as plantas cultivadas por nutrientes, água e luz. Antes dos defensivos químicos, uma das principais atividades agrícolas era a remoção manual de plantas daninhas, o que gerava uma demanda massiva e insustentável por mão de obra. Com o tempo, o desenvolvimento de equipamentos de cultivo, inicialmente movidos por tração animal e, posteriormente, por tratores, intensificou o uso do controle mecânico de plantas daninhas. No entanto, foi apenas com a ado-

ção dos herbicidas na década de 1950 que o trabalho exaustivo de capina foi reduzido, transformando a agricultura e aumentando significativamente a eficiência do manejo.

Desde 1960, a produção agrícola global mais que triplicou, com a maior parte desse crescimento sendo atribuída ao aumento da produtividade, no lugar da expansão de terras agrícolas. Esse resultado é fruto da combinação de defensivos químicos, fertilizantes e melhoramento genético das culturas.



Os defensivos químicos, em particular, desempenham um papel fundamental ao proteger as plantas contra pragas e doenças, permitindo que as características genéticas se traduzam, ao final do ciclo, em colheitas com a quantidade e qualidade esperadas.

Segundo estimativas da FAO, entre 20% e 40% da produção agrícola global é perdida anualmente devido à ação de insetos-praga, doenças e plantas daninhas, resultando em prejuízos de aproximadamente 220 bilhões de dólares. Apenas o ataque de insetos nas lavouras é responsável por uma perda anual estimada em 7,7%, equivalente a quase 25 milhões de toneladas de produtos agrícolas e um impacto econômico de 17,7 bilhões de dólares. Além disso, as 1.800 espécies de plantas daninhas conhecidas causam uma redução de 31,5% na produtividade das culturas em todo o mundo. ■

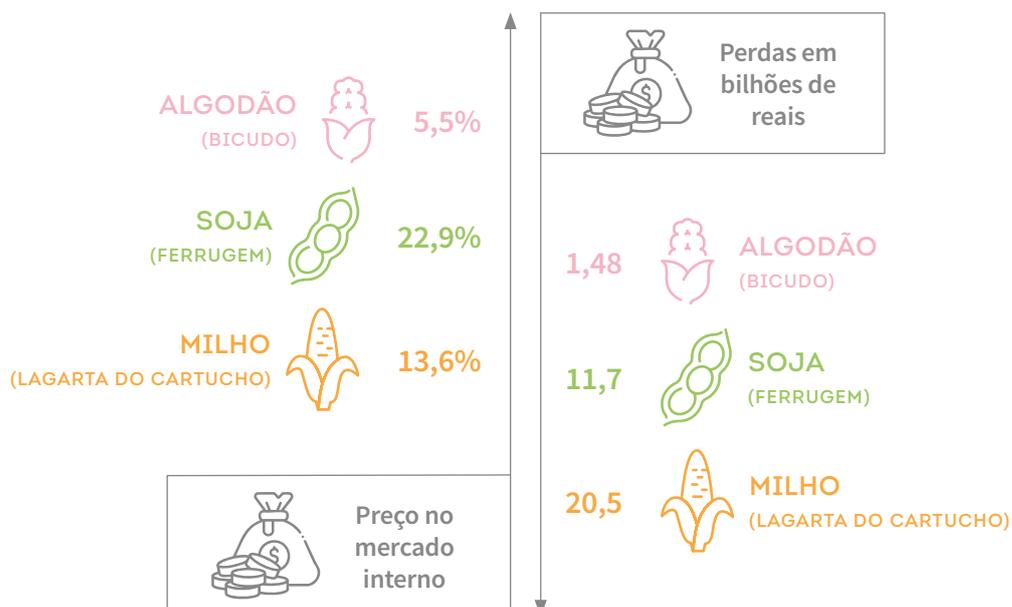
Ausência de controle de pragas e doenças geram perdas em toda a cadeia produtiva

O **CENTRO** de Estudos Avançados em Economia Aplicada de São Paulo (CEPEA) avaliou o impacto das pragas e doenças nas culturas de algodão, milho e soja na ausência de defensivos químicos em 2019. Os re-

sultados indicam que as perdas de produção podem atingir até 40%, com efeitos em cascata ao longo de toda a cadeia produtiva, resultando em aumento nos preços dos alimentos.

Impactos da ausência de controle de pragas e doenças

Fonte: Cepea, 2019





Em relação à cultura do algodão, a ausência de controle químico para o bicudo do algodoeiro, uma das principais pragas da cotonicultura, resultaria em um aumento de 5,5% nos preços internos. A queda de produtividade de 30%, combinada com esse aumento, acarretaria uma redução de 26% na receita bruta. Em vez de alcançar um lucro previsto de 90 milhões de reais, os produtores enfrentariam um prejuízo de 1,39 bilhão de reais, totalizando uma perda acumulada de 1,48 bilhão de reais (referente ao ano de 2019).

A simulação para a cultura da soja foi realizada em um cenário em que os produtores não utilizassem fungicidas para o controle da ferrugem asiática, a principal doença da cultura. Com perdas estimadas em 30% na oferta, a sojicultura, em vez de alcançar um lucro previsto de 8,32 bilhões de reais, enfrentaria um prejuízo de 3,37 bilhões de reais. Assim, os produtores incorreriam em uma perda total de 11,7 bilhões de reais.

Um cenário ainda mais desafiador foi identificado para a cultura do milho na ausência de controle químico da lagarta do cartucho, considerada a principal praga da cultura. Os danos causados por essa lagarta resultariam em uma redução de 40% na produção nacional, além de um aumento de 13,6% no preço do milho no mercado interno. Se essa quebra de safra ocorrer, os produtores enfrentariam um prejuízo de 20,5 bilhões de reais (referente ao ano de 2019).

A completa eliminação de métodos de controle químico, embora de forma teórica, como abordado no estudo, permite avaliar os impactos diretos na renda do produtor até as repercussões na inflação e nos preços ao consumidor. É importante ressaltar, a necessidade de adotar práticas de manejo integradas e da pesquisa em novas tecnologias, visando a um equilíbrio entre produtividade, segurança alimentar e preservação ambiental. ■

Aprimorando a proteção das culturas

DESDE OS primórdios da agricultura, os produtores já enfrentavam desafios impostos por insetos-praga e doenças de plantas. Com o objetivo de proteger os cultivos, pelo que indicam os registros, em 2.500 a.C., os sumérios utilizavam compostos de enxofre no controle de insetos e ácaros em suas lavouras. Na Idade Média, compostos de mercúrio e arsênio continuaram a ser utilizados na proteção de cultivos. Embora as causas dos danos à produção fossem desconhecidas, esses registros evidenciam a preocupação dos agricultores em preservar suas colheitas. O tabaco era utilizado no controle de insetos e infusão de fumo de corda no controle de doenças de plantas.

Em 1878, o míldio foi observado pela primeira vez em mudas de uva na França. Na mesma época, alguns proprietários de vinícolas também sofriam perdas devido ao roubo de uvas por pessoas que passavam pelas estradas. Para desencorajar o roubo, começaram a pulverizar as videiras com uma mistura de cal e sulfato de cobre, o que tingia as plantas de azul, fazendo-as parecer impróprias para o consumo. O químico *Millardet* percebeu que essa mistura tinha um efeito protetor: as plantas tratadas apresentavam muito menos míldio. Um dos fungicidas mais conhecidos, a calda bordalesa, foi então anunciado em 1885. O uso de enxofre, cal e sulfato de cobre dominaram o controle químico de doenças de plantas até o início do século XX.

Logo depois, produtos químicos em pó começaram a ser utilizados no tratamento de sementes. Na década de 1930, compostos orgânicos sintéticos passaram a ser aplicados no controle de doenças de plantas. Rapidamente, os pesticidas sintéticos ganharam uso em larga escala na proteção de cultivos.

Os anos de guerra marcaram um período de grandes avanços na indústria química em diversos países. Com o fim do conflito, parte dos recursos e esforços antes dedicados ao cenário militar foi redirecionada para a pesquisa agrícola, especialmente para a proteção química de cultivos. Antes do desenvolvimento dos pesticidas sintéticos, a luta contra o ataque constante de pragas era lenta e contínua, travada com ferramentas simples e produtos químicos naturais.

Em 1945, o DDT foi disponibilizado aos agricultores como inseticida. Cinco anos depois, já existiam cerca de 50 novos herbicidas, inseticidas e fungicidas para uso na agricultura. Na década de 1960, se aumentou o esforço de se desenvolver produtos químicos com maior eficiência agrônômica e menor risco à saúde humana e ao meio ambiente.

No Brasil, em 1989, foi aprovada a primeira Lei de Agrotóxicos (Lei Federal 7.802/89). Desde então, o setor químico tem apresentado inovações contínuas, com rigor, qualidade e segurança significativamente superior aos produtos



iniciais. Em 1990, foi criado o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), que passou a fornecer dados transparentes sobre os resíduos de agrotóxicos em alimentos, monitorando e promovendo o uso seguro desses produtos.

Em 2002, foi publicado o Decreto nº 4.074, que regulamentou a Lei nº 7.802/1989, detalhando diretrizes para garantir a segurança no uso, produção e comercialização dos defensivos agrícolas.

O marco regulatório passou por uma modernização significativa em 2019, com a publicação de três Resoluções da Diretoria Colegiada (RDCs) e uma Instrução Normativa (IN) pela Anvisa, alinhando o Brasil a padrões internacionais. A RDC nº 296/2019 estabeleceu critérios para a avaliação toxicológica de agrotóxicos, incorporando parâmetros do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS). A RDC nº 294/2019 regulamentou a classificação toxicológica, oficializando os critérios do GHS no Brasil. Por fim, a RDC nº 295/2019 introduziu requisitos para rotulagem e embalagem de agrotóxicos, também em conformidade com o GHS, consolidando o avanço regulatório no país.

Recentemente, em dezembro de 2023, foi aprovada a nova Lei de Agrotóxicos (Lei 14.785), um marco importante que traz novos conceitos, prazos e mantém os rigorosos padrões das agências reguladoras, atualizando a legislação anterior para acompanhar as grandes transformações da agricultura. ■

Destaques da história da proteção de cultivos

Há mais de 4.000 anos

Povos da Suméria utilizavam enxofre para o controle de insetos e ácaros nas lavouras.

Idade Média

Produtos como arsênio, chumbo e mercúrio eram utilizados na proteção de cultivos.

Século XVII

Utilização de tabaco no controle de insetos e infusão de fumo de corda no controle de doenças de plantas.

1885

Anunciado o primeiro fungicida, conhecido como *Calda Bordalesa*, uma mistura de sulfato de cobre e cal para o controle de míldio da videira.

1950

50 novos produtos (herbicidas, inseticidas e fungicidas) para proteção de cultivos.

1945

DDT é disponibilizado aos agricultores para uso como inseticida.

1940

Primeiros pesticidas sintéticos utilizados, em grande escala, nas lavouras.

1930

Início do uso de compostos orgânicos sintéticos para controlar patógenos de plantas.

1890

Produto químico em pó, começou a ser utilizado para tratamento de sementes.

1960

Desenvolvimento de produtos químicos mais eficientes e com menor risco à saúde humana e ao meio ambiente.

1989

Aprovação da primeira Lei de Agrótoxícos do Brasil (Lei no 7.802/1989).

1990

Criação do programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA).

2002

Publicação do decreto 4.074 que regulamentou a Lei 7.802/1989.

2019

Publicação de 3 RDCs da Anvisa promoveu avanço na adoção de padrões internacionais de segurança.

2023

Aprovação da Nova Lei de Agrótoxícos do Brasil (Lei no 14.785/2023).





Defensivos agrícolas modernos são mais seletivos e de menor impacto ambiental

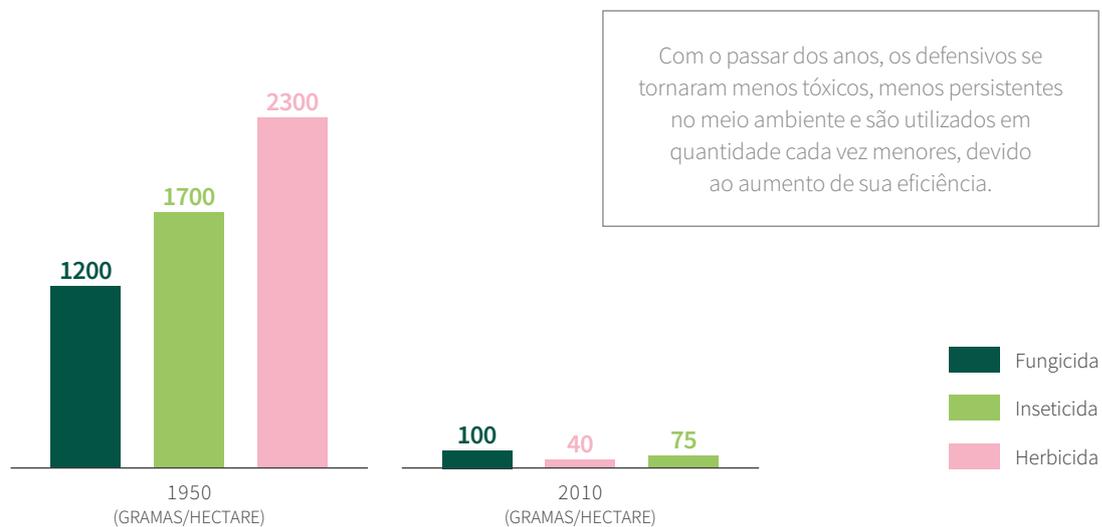
COM O aumento da eficiência agronômica dos produtos de controle, foi possível reduzir as doses aplicadas por área, ao mesmo tempo em que se elevou a disponibilidade de produtos e grupos químicos. Por exemplo, em comparação com 100 ingredientes ativos em 1960, atualmente o setor fornece cerca de 600 ingredientes ativos que são utilizados em inúmeras formulações. Estudos indicam que as perdas de produção podem atingir até 40%, com efeitos em cascata ao longo de toda a cadeia produtiva, resultando em aumento nos preços dos alimentos.

Com a maior diversidade de produtos, também foi ampliada a oferta de defensivos menos tóxicos, menos persistentes no meio ambiente e mais eficientes.

Enquanto nos anos 1950, a taxa média de aplicação de fungicidas, inseticidas e herbicidas, em todo o mundo, era respectivamente de 1.200, 1.700 e 2.300 gramas do ingrediente ativo por hectare, em 2010, esses números caíram para 100, 40 e 75 gramas.

Taxa média de aplicação de ingredientes ativos

Fonte: Phillips McDougall, 2018



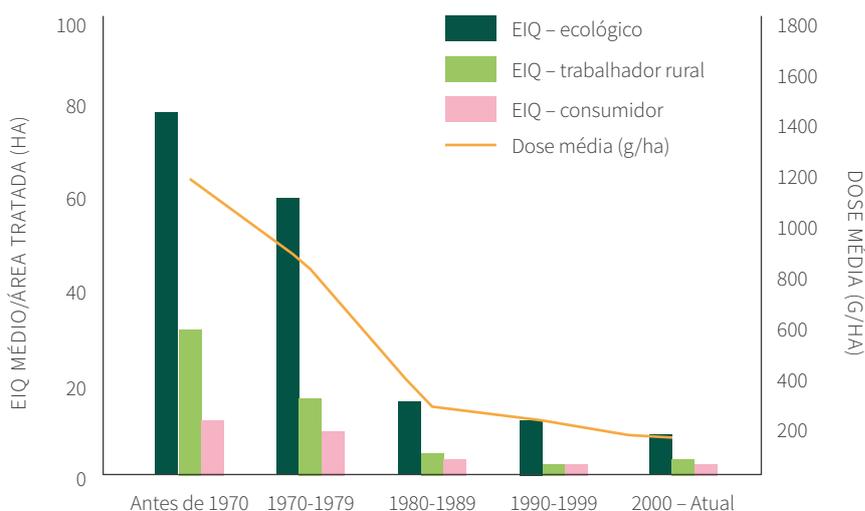
A tendência consolidada de redução de dose, aliada à redução nos valores de Quociente de Impacto Ambiental (do inglês *Environmental Impact Quotient*) EIQ indicam que os defensivos químicos mais recentes são mais seguros para o meio ambiente, trabalhadores e consumidores. Os achados são identificados pela comparação de valores de EIQ. O EIQ é calcula-

do considerando parâmetros como toxicidade dérmica e crônica, sistemicidade, toxicidade para peixes, potencial de lixiviação e de movimentação na superfície do solo, toxicidade para aves, tempo de degradação de 50% no solo, toxicidade para abelhas, toxicidade para artrópodes benéficos e tempo de degradação de 50% na superfície da planta.



Médias de EIQ e doses dos DEFENSIVOS QUÍMICOS

Fonte: Carbonari & Velini, 2023



Os estudos mostram uma diminuição contínua do EIQ no Brasil. Além da redução da dose média dos defensivos químicos utilizados no país ao longo dos períodos, o avanço reflete o desenvolvimento de produtos mais eficientes e seletivos, evidenciado pela diminuição de todos os componentes do EIQ. Os resultados são claros em indicar que o sistema regulatório brasileiro tem sido efetivo em ofertar aos agricultores defensivos químicos que são progressivamente mais seguros para os consumidores, para o ambiente e, principalmente, para os agricultores.

De fato, nas últimas décadas se observou uma verdadeira revolução no desenvolvimento de produtos de controle de pragas e doenças de plantas. Investimentos expressivos resultaram

em estudos integrando conhecimentos de genética, ecologia e química. Os achados foram decisivos para a especialização e compreensão sobre a complexidade das interações de moléculas com os organismos alvo e não alvo. ■

Nesta mesma direção, os treinamentos sobre uso de produtos fitossanitários foram sendo aprimorados e intensificados, disseminando conhecimentos sobre aplicação correta dos defensivos e práticas de coexistência entre agricultura e natureza, beneficiando agricultores, apicultores e comunidades rurais.

Uso de defensivos na agricultura brasileira

O AMBIENTE de produção agrícola brasileiro, predominantemente de clima tropical potencializa a ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas, uma vez que as condições climáticas favoráveis ocorrem o ano todo. O clima tropical tem um aspecto positivo, pois nos permite fazer mais de uma safra por ano, otimizando o uso das nossas terras agrícolas, mas aumenta a ocorrência dos problemas fitossanitários, exigindo maiores esforços no seu manejo.

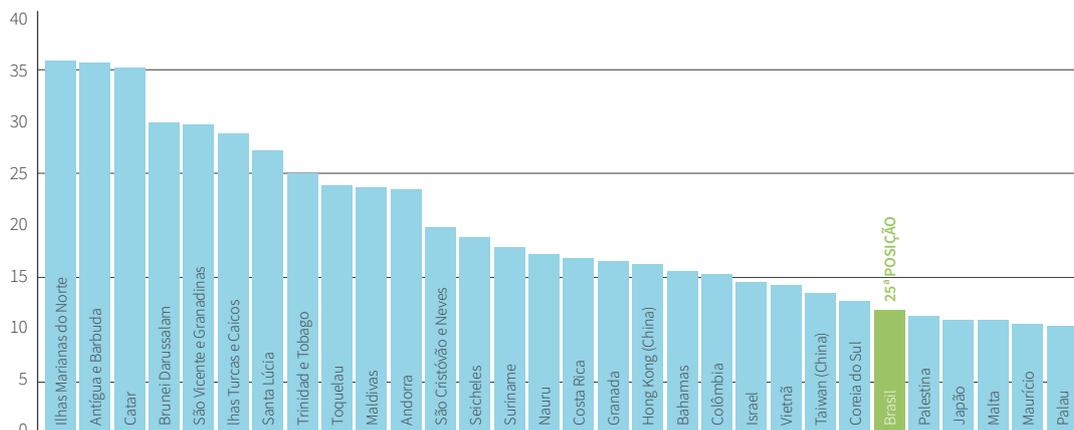
Apesar dessa maior complexidade imposta pelas condições tropicais e ocupação das áreas com duas ou mais safras, muitos países com relevância agrícola de clima temperado, fazem uso de maiores quantidades relativas de defensivos agrícolas quando comparados ao Brasil.

Segundo dados da FAO/ONU, no ano de 2022, o uso de agrotóxicos no Brasil atingiu a marca de 12,6 kg de agrotóxicos/hectare cultivado. O que coloca o Brasil na 25ª posição do ranking mundial de uso de agrotóxicos por hectare cultivado.



Consumo de defensivos agrícolas por área cultivada (kg/ha)

Fonte: FAOSTAT

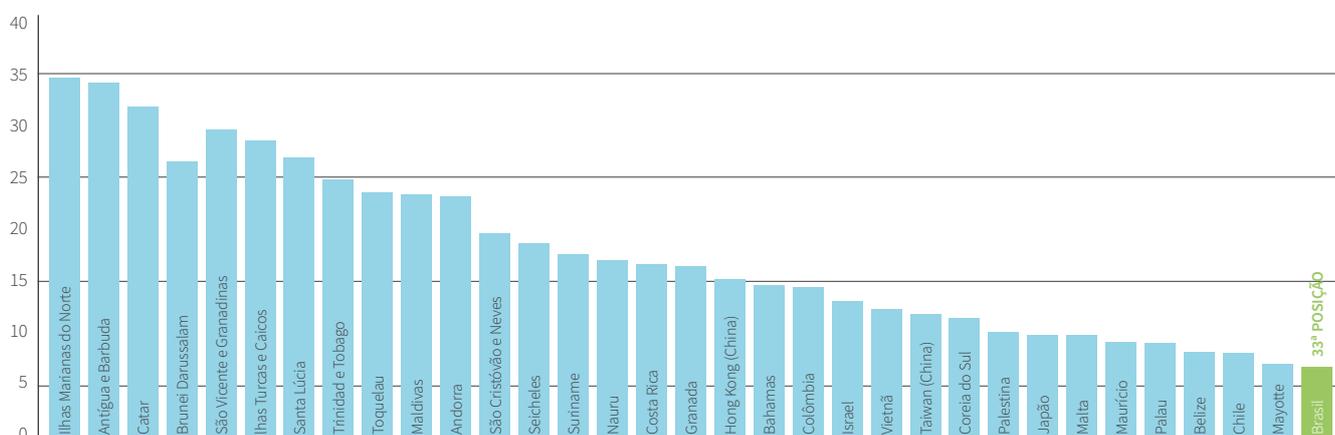


Contudo, na prática agrícola brasileira, em algumas culturas, como no milho e feijão, se realiza 2-3 safras na mesma área ao longo do ano, diferentemente dos outros países do mundo cujo clima permite apenas 1 safra por área ao longo do ano. Desta forma, devido às 2-3 safras ao ano no Brasil, em 2022, se utilizou aproxima-

damente 800.652 toneladas de defensivos agrícolas, em uma área total colhida de 914.949,38 hectares. Isso resulta em um consumo médio de defensivos de 8,7 kg/ha, posicionando o Brasil no 33º lugar no ranking, atrás de países de produção agrícola relevante como China, Japão, Colômbia, Chile e Costa Rica, entre outros.

Consumo de defensivos agrícolas por área colhida (kg/ha)

Fonte: FAOSTAT



Transformação e inovação no setor de defensivos agrícolas

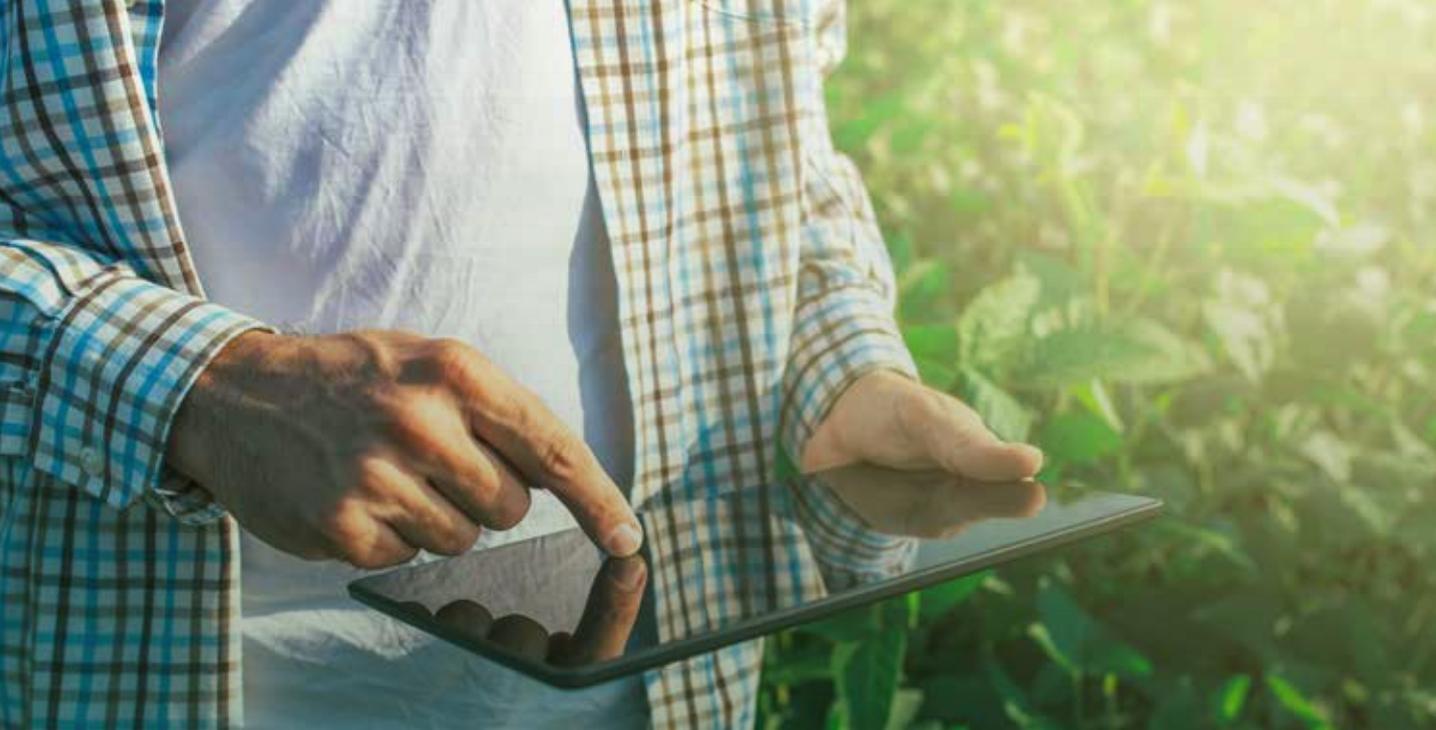
NO PASSADO, o desenvolvimento de produtos para proteção de cultivos priorizava, sobretudo, o aumento da produção agrícola. No entanto, as transformações sociais e

ambientais impostas pela sociedade e pelas mudanças no planeta trouxeram novos desafios, exigindo maior adaptação e inovação no setor.

Direcionadores do setor de DEFENSIVOS QUÍMICOS

Fonte: *Agrochemical Product Discovery, Development and Registration* (AgbioInvestor), 2024





O crescimento contínuo da população mundial, aliado à necessidade de expandir a produção agrícola, tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) de defensivos agrícolas focados em soluções de alta seletividade para proteger lavouras contra ameaças ao potencial genético dos cultivos. Paralelamente, a demanda dos consumidores por alimentos produzidos de forma sustentável está gerando maiores restrições regulatórias e fomentando investimentos em tecnologias de menor impacto ambiental. Adicionalmente, a crise climática intensifica os esforços de P&D na criação de produtos e sistemas de monitoramento que contribuam para a adaptação dos cultivos, bem como para a utilização mais racional de insumos e recursos naturais.

Entre as soluções inovadoras que emergem nesse contexto estão as tecnologias de aplicação, que incorporam maquinários avançados, monitoramento de pragas, doenças e plantas daninhas por meio de sensores e imagens, e a aplicação localizada de insumos. Essas práticas não apenas aumentam a eficiência do manejo agrícola, mas também promovem uma agricul-

tura mais sustentável, alinhada à preservação ambiental e à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Além disso, o setor tem adotado a agricultura de precisão em seus programas, capacitando os produtores a tomarem decisões mais assertivas com base em dados obtidos por drones, softwares de gestão, sensores e imagens de satélite. Essa abordagem possibilita a aplicação direcionada e precisa de defensivos agrícolas, minimizando desperdícios, reduzindo o risco de resistência de pragas e mitigando os impactos ambientais, enquanto otimiza a produtividade das lavouras.

Com essa evolução, o setor de defensivos agrícolas se posiciona como um verdadeiro “provedor de soluções para a proteção de cultivos”, integrando práticas de manejo às demandas por uma agricultura mais eficiente e sustentável. Esse movimento reforça o compromisso do setor com a agenda climática global, consolidando seu papel como parceiro essencial na construção de um sistema alimentar mundial mais resiliente e sustentável. ■

Pesquisa e desenvolvimento de defensivos agrícolas

A **DESCOBERTA** de um novo defensivo agrícola é um processo complexo e longo, que parte de uma triagem de mais de 160 mil moléculas, envolve uma diversidade de estudos que vão desde as avaliações de eficiência agrônômica e formulações, até detalhadas investigações de

segurança à saúde humana e ao meio ambiente. Nas diferentes etapas do processo o desenvolvedor compartilha estudos com os órgãos reguladores. O processo leva em média 12 anos de desenvolvimento e requer um investimento aproximado de 300 milhões de dólares.

Processo de desenvolvimento de um DEFENSIVO QUÍMICO

Fonte: *Agrochemical Product Discovery, Development and Registration* (AgbiolInvestor), 2024





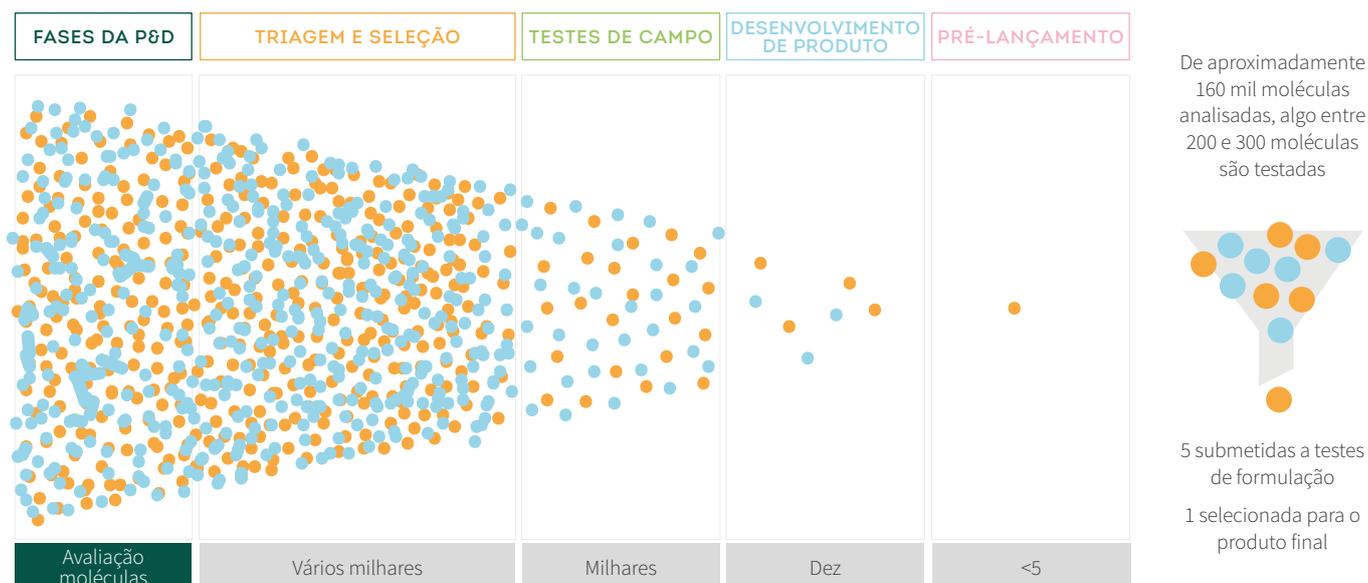
Inicialmente, os esforços se concentram na identificação de moléculas com potencial para o controle de insetos-praga, doenças e plantas daninhas, demandando conhecimento e análise do ciclo de vida do organismo-alvo. Nesta etapa os pesquisadores utilizam uma extensa biblioteca de moléculas e aplicam tecnologias de alto desempenho, para selecionar aquelas com maior potencial de utilização como defensivos agrícolas.

Uma vez selecionadas algumas moléculas promissoras, inicia-se a etapa de síntese em laboratório para que se possa avaliar o desempenho contra os organismos-alvo em condições controladas. Para a utilização de um defensivo químico, componente ou afim para a finalidade específica em pesquisa e experimentação, é necessário solicitar ao Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) um pedido de Registro Especial Temporário (RET). Com ele, se pode importar ou produzir quantidade pré-determinada para uso em experimentação.

À medida que os dados provenientes desses ensaios são coletados e reportados ao MAPA, as possibilidades para a experimentação agrícola vão sendo gradualmente ampliadas. Além disso, é necessário considerar outros fatores, como a verificação de possíveis patentes, as demandas do mercado e dos agricultores, segurança para seres humanos, animais e meio ambiente, bem como o potencial comercial da molécula. Como resultado dessas análises preliminares, muitos ingredientes ativos são descartados, e apenas aqueles que demonstram resultados promissores, prosseguem.

Etapas de triagem e seleção de DEFENSIVOS QUÍMICOS

Fonte: *Agrochemical Product Discovery, Development and Registration* (AgbiolInvestor), 2024



Depois dos estudos de formulações, os protótipos avançam para os ensaios de campo para avaliar sua eficiência agrônômica em diferentes regiões e condições climáticas. Os ensaios de praticabilidade e eficiência agrônômica de um defensivo químico em relação a um organismo-alvo são cruciais, pois fornecem informações valiosas para determinar doses adequadas, momentos de aplicação, comportamento do produto no ambiente, seletividade e tecnologia de aplicação.

Paralelamente, são conduzidos estudos de segurança e toxicidade conforme determinações da Anvisa e do IBAMA. Realizam-se testes toxicológicos e de resíduos para identificar possíveis efeitos em mamíferos, seja por

ingestão, inalação ou contato dérmico, além de avaliar impactos em órgãos específicos. Além disso, as avaliações de ecotoxicologia investigam potenciais impactos em organismos não-alvo, como abelhas, pássaros e peixes. Por fim, são feitos estudos de degradação e persistência no ambiente, que avaliam o tempo de degradação do produto no solo, na água e no ar.

Desde a década de 1960, o desenvolvimento de produtos químicos para a agricultura evoluiu de um foco exclusivo em maximizar rendimentos e controlar pragas, doenças e plantas daninhas para uma abordagem que também prioriza a gestão de riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

A regulamentação desses produtos tornou-se significativamente mais rigorosa e complexa, exigindo a realização de mais de 150 estudos para registrar novos ingredientes ativos.

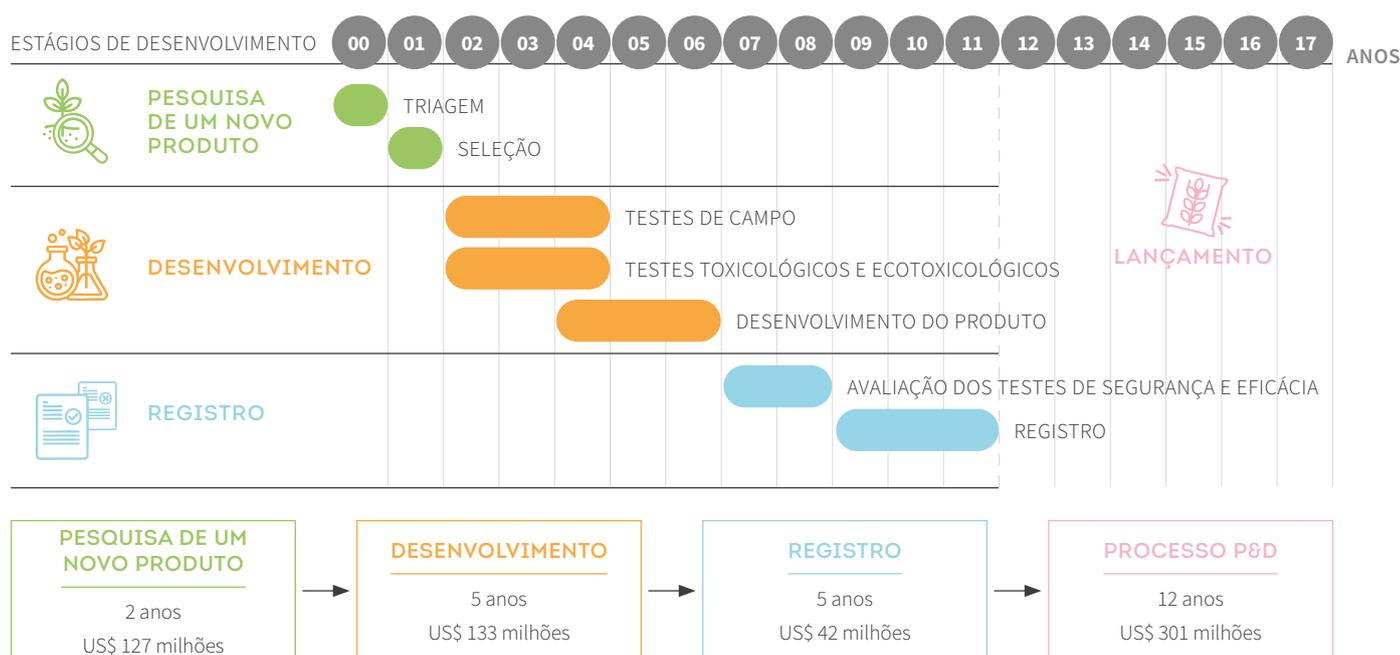
Além disso, substâncias ativas já estabelecidas passaram por atualizações com novos estudos, especialmente para atender às exi-

gências mais estritas de mercados como a União Europeia, os Estados Unidos e países da OCDE.

Esse cenário resulta na necessidade de esforços cada vez maiores para se desenvolver um único produto de controle de doenças e pragas. Diante da dificuldade crescente em encontrar novos produtos e que atendam às demandas, a triagem inicial de candidatos parte de 160 mil novas moléculas — um aumento em relação às 52 mil da década de 1950. Fato que exige grandes investimentos e busca por diferenciais competitivos, posicionando o setor como um dos mais inovadores.

Etapas de desenvolvimento de novos DEFENSIVOS QUÍMICOS

Fonte: *Agrochemical Product Discovery, Development and Registration* (AgbioInvestor), 2024



De acordo com pesquisa sobre inovação do IBGE, o setor de defensivos agrícolas destaca-se como uma das atividades mais inovadoras, com investimento médio das empresas em atividades inovativas é de 3 a 4 vezes maior do que a média nacional.

As atividades internas de P&D são as que mais recebem recursos, refletindo a prioridade que o setor atribuiu aos processos de inovação. No caso dos defensivos agrícolas químicos, 67% do total investido em inovação dentro das empresas é direcionado a P&D, demonstrando a centralidade dessa área na busca por soluções eficientes e sustentáveis. ■

Sistema regulatório brasileiro garante alimentos seguros à saúde e ao meio ambiente

O USO de agrotóxicos no Brasil é regulamentado por uma das legislações mais rigorosas do mundo, estabelecendo normas detalhadas para todas as etapas do processo. A Lei



14.785/23 abrange a pesquisa, experimentação, produção, embalagem, rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, utilização, importação, exportação, destinação de resíduos e embalagens, registro, classificação, controle, inspeção e fiscalização do uso, assegurando critérios rígidos para a segurança e eficiência desses produtos.

A solicitação de registro é feita ao Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), que atesta a eficiência agronômica, segurança e qualidade dos produtos. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) é responsável por avaliar os aspectos relacionados à saúde humana, como a toxicidade do defensivo químico e os níveis seguros de resíduos, de modo a garantir que não representem riscos aos consumidores. Enquanto, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) avalia os potenciais impactos ambientais e estabelece medidas para minimizar os riscos associados.

Em conformidade com os protocolos internacionais, a legislação exige a apresentação de um dossiê completo com estudos sobre eficiência agronômica e segurança. Após a submissão, os órgãos reguladores podem solicitar informações adicionais ou modificações para assegurar a segurança do produto. Cada um desses órgãos realiza suas avaliações de forma independente e dentro de suas respectivas competências. Apenas com a concordância dos três órgãos o MAPA concede o registro do produto, permitindo seu início de comercialização e uso na agricultura.

Em conjunto com a empresa solicitante, são definidas as informações que deverão constar no rótulo e na bula, conforme as especificações de cada órgão. O IBAMA é responsável por incluir dados relacionados à proteção do meio ambiente, instruções de armazenamento, procedimentos em caso de acidentes e a destinação de embalagens vazias. O MAPA determina informações sobre o produto, como tipo de formulação, fabricantes e formuladores, instruções de uso (culturas, alvos e doses), além de orientações sobre o momento e os equipamentos de aplicação. Já a Anvisa estabelece orientações voltadas à proteção da saúde humana, incluindo precauções durante o manuseio e aplicação, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), primeiros socorros e informações médicas.

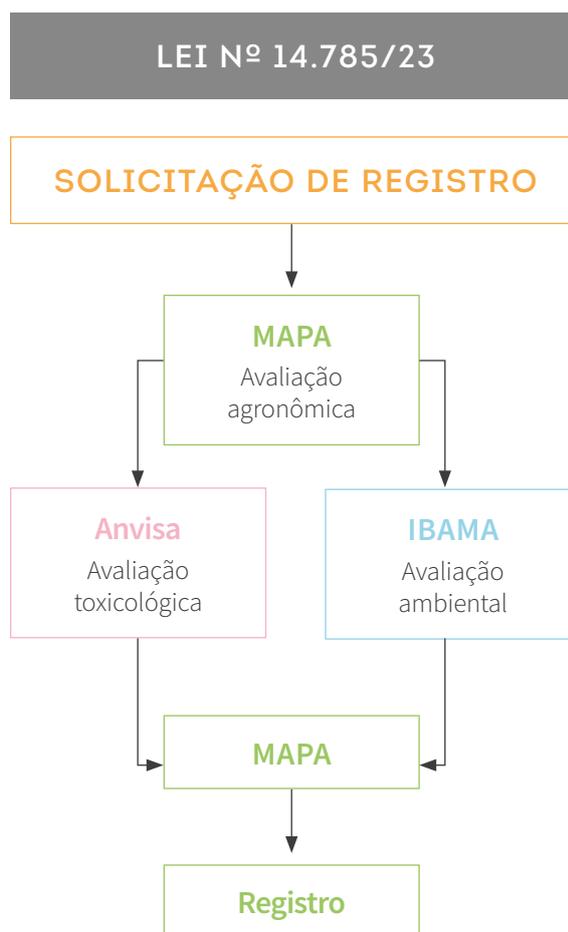
Mesmo após a comercialização de um defensivo agrícola, as empresas que detêm registros e os órgãos reguladores continuam monitorando o uso do produto. É necessário coletar dados de campo para avaliar continuamente sua eficiência, segurança e possíveis problemas de resistência. ■

Modernização da regulamentação de defensivos agrícolas

A LEI 14.785/23, também conhecida como a nova Lei de Agrotóxicos, alterou a regulamentação para defensivos agrícolas no Brasil (Lei 7.802/89) após discussões iniciadas desde 1999 e que tramitaram por mais de 20 anos até que a nova legislação fosse sancionada em dezembro de 2023. O ponto de central da revisão da regulamentação se deu pela necessidade de mecanismos mais ágeis de registro de produtos inovadores em uso em muitos países e não ofertados aos agricultores brasileiros.

Sendo o Brasil, um importante produtor de alimentos, em nenhum momento se questionou a manutenção do rigor de análise dos defensivos agrícolas durante a atualização da Lei e, por conta disso, a nova regulamentação mantém o tripé de avaliação já em uso no Brasil desde 1989. MAPA avaliando as questões agrônômicas, a Anvisa as questões relacionadas à saúde (aspectos toxicológicos) e o IBAMA as questões de segurança ambiental.

Uma das novidades da Lei 14.785/23 é a atribuição de coordenação ao MAPA, que passa a definir e estabelecer prioridades de análise dos pleitos de registro de pesticidas e reanálise junto aos órgãos federais responsáveis pelos setores da saúde (Anvisa) e do meio ambiente (IBAMA). Desta forma, se viabiliza uma análise sincronizada entre os três órgãos que deliberam sobre a aprovação, permitindo atender



com mais agilidade às demandas da agricultura brasileira quanto aos problemas fitossanitários e novos defensivos químicos.

A nova Lei passa a contemplar os conceitos de análise de risco, amplamente adotados nos principais países desenvolvidos e de importância agrícola há, pelo menos, duas décadas. Enquanto o perigo representa uma propriedade inerente de um agente (físico, químico ou

biológico) de provocar efeito nocivo à saúde humana ou ao meio ambiente, o risco se refere à probabilidade de ocorrência de efeito nocivo à saúde ou ao meio ambiente em função da exposição a um perigo.

Em outras palavras, risco não é sinônimo de perigo. O risco depende tanto do perigo quanto da exposição. A exposição, por sua vez, depende de vários fatores, incluindo dose, número de aplicações, intervalo de tempo entre a aplicação e colheita, vida média do produto, dinâmica do insumo na planta e no ambiente, tecnologia e equipamentos de proteção utilizados. Portanto, a avaliação de risco considera a variável exposição e deve ser sempre conduzida em condições práticas de uso.

Uma consideração importante uma vez que muitas tecnologias e inovações relacionadas à redução do risco, têm sido incorporadas aos defensivos agrícolas ou às técnicas de aplicação desses produtos.

Como um dos maiores exportadores de alimentos do mundo, o Brasil precisa garantir que sua legislação esteja em conformidade com as normas internacionais. A nova regulamentação foi desenvolvida com base em princípios que asseguram a manutenção dessa conformidade, permitindo ao país continuar alinhado aos compromissos globais. Isso inclui o Sis-

tema Globalmente Harmonizado (GHS) para classificação e rotulagem de produtos químicos, o Acordo sobre a Aplicação de Medidas Sanitárias e Fitossanitárias (SPS), e os padrões estabelecidos pelo *Codex Alimentarius*, que regulam o comércio internacional de alimentos. Essa harmonização reforça a competitividade do Brasil no mercado global e contribui para a segurança e qualidade dos alimentos exportados.

De fato, o processo de modernização da regulamentação pelo qual o país está passando é um aspecto crucial da lei, que visa alinhar o Brasil com as melhores práticas internacionais em segurança e sustentabilidade agrícola e deverá viabilizar a introdução de produtos cada vez mais seguros e menos tóxicos no mercado.





Com controle de resíduos, o Brasil exporta alimentos para mais de 180 países

O **BRASIL** é membro do *Codex Alimentarius*, um programa conjunto da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e da Organização Mundial do Comércio (OMC). O Codex estabelece normas globais para a segurança alimentar, incluindo limites máximos de resíduos (LMRs) de pesticidas em alimentos e rações. O LMR é definido como a quantidade máxima permitida de resíduo de pesticida (em mg/kg) quando produtos fitossanitários são aplicados conforme as Boas Práticas Agrícolas (BPAs). Esses limites são baseados no uso aprovado em cada país, podendo variar entre nações e gerar desafios comerciais. No âmbito do Codex, os LMRs são padrões alimentares reconhecidos internacionalmente, avaliados pela Reunião Conjunta sobre Resíduos de Pesticidas (JMPR), formada pela FAO e

a Organização Mundial da Saúde (OMS). Anualmente, o JMPR recomenda LMRs ao Comitê do Codex sobre Resíduos de Pesticidas (CCPR), que submete as propostas à aprovação da Comissão do Codex Alimentarius (CAC). Esse processo busca estabelecer padrões aceitos globalmente para promover a segurança alimentar.

No entanto, discussões em torno de políticas como o Pacto Ecológico Europeu e a estratégia *Farm to Fork* têm potencial de influenciar os LMRs globais. A possível exclusão de produtos não utilizados na União Europeia pode impactar o comércio agrícola do Brasil, representando um desafio significativo para as exportações.

O MAPA, o IBAMA e a Anvisa, dentro de suas respectivas competências, têm implementado medidas para mitigar riscos associados ao uso

de agrotóxicos. Essas medidas incluem restrições de uso, mudanças nas formas de aplicação e até a proibição de Agrotóxicos Altamente Perigosos. O Decreto nº 4.074/2002 autoriza a reavaliação de registros de agrotóxicos com base em alertas de organizações internacionais sobre riscos à saúde, alimentação ou meio ambiente, ou diante de novos indícios de perigo.

Além disso, o país conta com dois programas oficiais de monitoramento de resíduos de agrotóxicos nos alimentos. O MAPA realiza o Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes em Produtos de Origem Vegetal (PNCRC), que coleta amostras de alimentos diretamente nas propriedades rurais para análise de resíduos de agrotóxicos. O Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), por sua vez, é um importante instrumento para assegurar a segurança alimentar, analisando amostras para verificar a conformidade com as normas de

saúde pública. Esses dois programas fiscalizam o cumprimento das regras de aplicação dos defensivos na agricultura. Essas diretrizes obedecem a protocolos estabelecidos pela ONU e pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e têm como objetivo principal proteger a saúde dos consumidores.

A divulgação do relatório do PARA 2022 em 06/12/2023 pela Anvisa, revelou que os resultados de monitoramento e avaliação do risco compilados, correspondentes às análises de diversos alimentos que fazem parte da dieta básica do brasileiro, indicam que são seguros quanto aos potenciais riscos de intoxicação aguda e crônica advindos da exposição dietética a resíduos de agrotóxicos. Apenas em 0,17% (3 de 1.772 amostras analisadas) foram detectados potenciais situações de risco dietético agudo, que são pontuais e de origem conhecida, de modo que a Anvisa vem adotando providências para mitigar os riscos identificados. ■

Pragas e doenças de plantas: ameaças crescentes em um cenário de globalização e mudanças climáticas

PRAGAS E doenças de plantas não reconhecem fronteiras. Em um mundo cada vez mais globalizado e interconectado, não é surpresa que elas se desloquem e colonizem novas áreas. As mudanças climáticas intensificam

essa disseminação, criando condições favoráveis para o estabelecimento de pragas e a sobrevivência de doenças de plantas em regiões antes não afetadas. Exemplos como o gorgulho-da-palma-vermelha, a lagarta-

-do-cartucho, a mosca-das-frutas, o gafanhoto-do-deserto e a broca-cinza-esmeralda evidenciam essa expansão. O aumento da incidência de pragas, especialmente as invasoras, representa uma grave ameaça ao meio ambiente, podendo causar perda significativa de biodiversidade. Da mesma forma, as doenças de plantas são devastadoras, comprometendo colheitas e reduzindo a produtividade agrícola.

Historicamente, a introdução de pragas e doenças causou impactos severos. Exemplos emblemáticos incluem a “Grande Fome” na Irlanda, no século XIX, devido ao patógeno *Phytophthora infestans* na batata, e a introdução do bicudo-do-algodoeiro no Brasil na década de 1980, que contribuiu para a perda de relevância econômica do algodão no país. Hoje, no entanto, avanços na pesquisa científica e o desenvolvimento de defensivos químicos permitem minimizar esses danos de maneira mais eficiente.

Apesar disso, o cenário de mudanças climáticas em um mercado globalizado aumenta significativamente a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas ao ataque de pragas e doenças. Esse contexto exige maiores esforços em pesquisa e desenvolvimento (P&D), investimentos robustos e políticas que incentivem e reconheçam inovações em soluções de proteção de cultivos, essenciais para garantir a sustentabilidade e resiliência da agricultura.



Proteção de dados regulatórios: garantindo inovação e evitando as perdas no campo

O **PROCESSO** de registro de defensivos químicos no Brasil exige a entrega de múltiplos requerimentos aos três órgãos reguladores — MAPA, Anvisa e IBAMA — acompanhados de um dossiê detalhado e abrangente. Esse documento reúne resultados de testes e dados que comprovam tanto a eficácia do defensivo no controle de pragas quanto sua segurança para a saúde humana e o meio ambiente. A elaboração do dossiê é fruto de vários anos de P&D, além de investimentos significativos em tecnologia avançada, podendo alcançar custos de até US\$ 300 milhões para as empresas.

Dada a complexidade e o alto custo envolvidos, os dados apresentados no dossiê regulatório, especialmente quando relacionados a novas substâncias químicas ou biológicas, requerem proteção especial do Estado. Essa proteção busca evitar a prática de “caronas” (*free riders*), que se refere a agentes que se beneficiam do esforço alheio, utilizando os dados do primeiro requerente sem o devido investimento.

Reconhecendo essa necessidade, o Brasil, em conformidade com os compromissos internacionais, promulgou a Lei 10.603/2002. Essa



lei regula a proteção contra o uso comercial desleal de informações sigilosas apresentadas aos órgãos públicos como requisito para aprovação de registros. Entre suas disposições, está o estabelecimento de um prazo de exclusividade de dez anos, durante o qual os dados apresentados pelo primeiro requerente não podem ser utilizados por terceiros sem autorização. A medida resguarda o investimento e assegura a viabilidade econômica do desenvolvimento de novas tecnologias.

O Acordo TRIPS (Aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual Relacionados ao Comércio) reforça esse princípio, exigindo que os Estados protejam dados sigilosos contra uso desleal. Isso inclui prevenir tanto a divulgação quanto o uso indevido por terceiros sem a autorização de quem desenvolveu os dados.

A legislação brasileira reflete esse compromisso, com destaque para a Lei 9.279/1996 (Lei de Propriedade Industrial) e a Lei 10.603/2002. Essas normas asseguram exclusividade no uso dos dados regulatórios durante o período de proteção e estabelecem penalidades contra o uso indevido, garantindo que terceiros não se beneficiem de maneira desleal.

Em suma, proteger os dados regulatórios é reconhecer e valorizar o esforço econômico e intelectual das empresas que investem em inovação. Essa proteção não apenas resguarda os direitos de quem cria e desenvolve novas tecnologias, mas também estimula a ciência e a pesquisa, promovendo o progresso econômico e social de forma sustentável.

A agricultura brasileira tem avançado continuamente em termos de diversidade e produtividade nas últimas décadas. Um dos maiores desafios para a continuidade desse ciclo virtuoso é o manejo sustentável de pragas, doenças e plantas daninhas. Portanto, é essencial disponibilizar aos agricultores, em tempo adequado e praticado por quase todas as agências reguladoras do mundo, novos defensivos agrícolas, mais seletivos e eficazes e seguros. Para isso, além do sistema regulatório eficiente, é preciso estimular a continuidade nos esforços de P&D, assegurando que os mecanismos de proteção intelectual sejam efetivos. ■

De olho no futuro

AS MUDANÇAS climáticas têm causado impactos profundos na agricultura global, acelerando a proliferação de pragas e doenças e alterando o regime de chuvas, com graves consequências para a produção de alimentos. O aumento das temperaturas e a variabilidade climática criam condições ideais para a expansão geográfica de patógenos que antes estavam restritos a certas regiões. Além disso, essas mudanças podem acelerar o ciclo de vida de insetos, permitindo que pragas completem mais gerações ao longo do ano, aumentando significativamente a pressão sobre as culturas agrícolas.

Paralelamente, o impacto das mudanças climáticas no ciclo hidrológico intensifica a ocorrência de eventos extremos, como secas prolongadas e inundações, desestabilizando a oferta regular de água essencial para a irrigação. Secas severas podem comprometer a disponibilidade de água, reduzindo drasticamente a produtividade das plantações, enquanto inundações não apenas destroem culturas inteiras, mas também prejudicam a fertilidade do solo. Esses fatores combinados ameaçam a segurança alimentar global e colocam em risco economias fortemente dependentes da agricultura, exigindo adaptações urgentes para mitigar os danos e garantir a sustentabilidade do setor.

Um futuro focado na sustentabilidade pressupõe “fazer mais com menos”, o que demanda

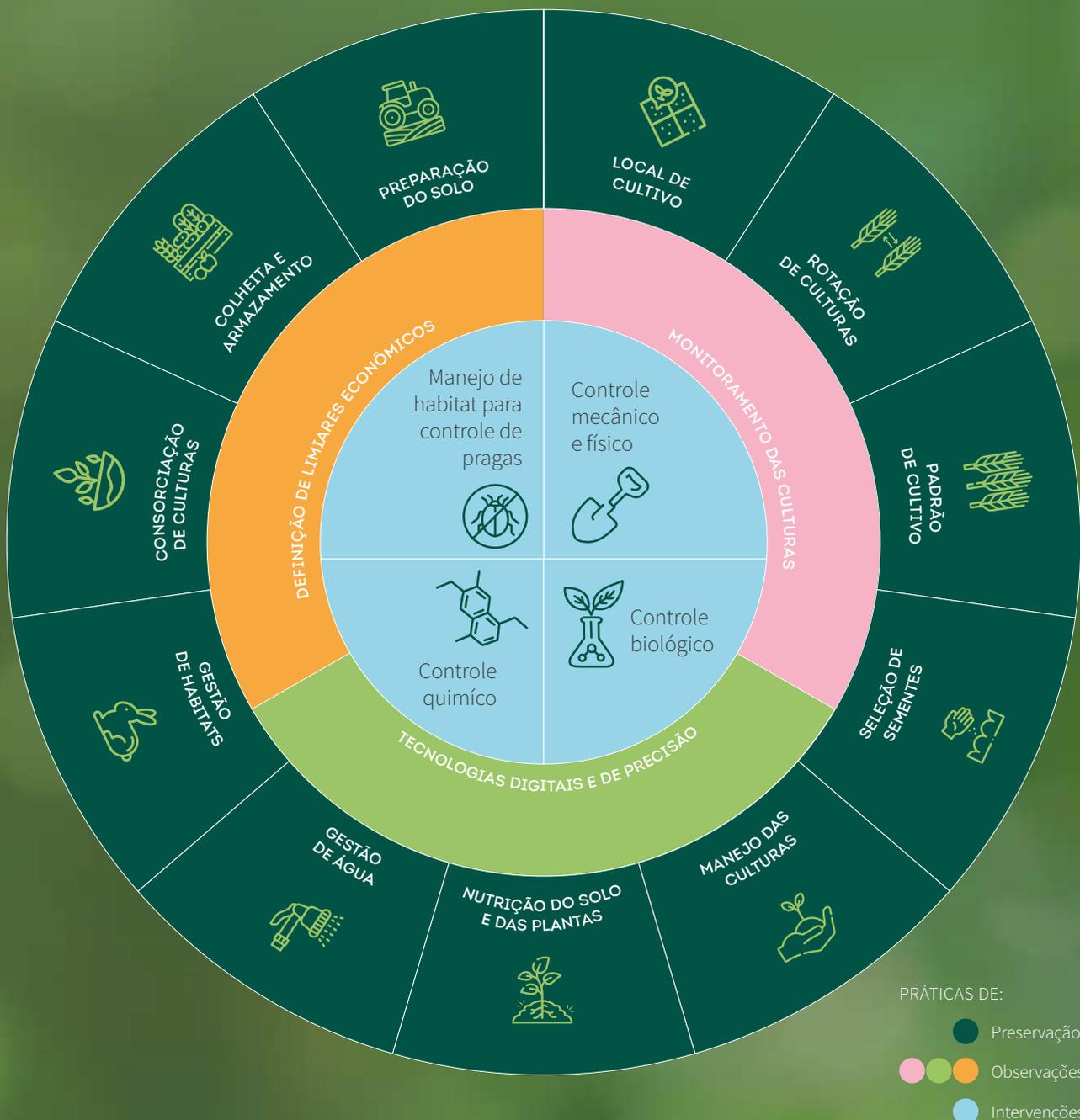
aos sistemas, especialmente aos de produção agrícola um olhar holístico em todas as práticas. Neste modelo, o controle de pragas e doenças não pode ser visto como sinônimo de uso de defensivos agrícolas, ainda que sejam insumos essenciais, estão inseridos em um contexto maior.

Dentro da perspectiva de sustentabilidade, amplamente compartilhada por empresas que realizam elevados investimentos P&D, o Manejo Integrado de pragas (MIP) destaca-se como uma abordagem essencial. Esse modelo considera uma ampla gama de opções de gerenciamento com o objetivo de manter as pragas abaixo de níveis que causem danos econômicos significativos.

No MIP, a gestão de pragas e doenças no campo é alcançada por meio da combinação de três pilares principais: prevenção, que inclui práticas como o uso de cultivares resistentes e o manejo adequado do solo; monitoramento, com a utilização de tecnologias avançadas, como sensores e imagens, para acompanhar populações de pragas e condições do campo; e intervenções, que englobam desde o controle biológico até o uso criterioso de defensivos agrícolas. Essa abordagem integrada não apenas promove a eficiência no controle de pragas, mas também reduz o impacto ambiental, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e produtiva.

Manejo integrado de pragas

Fonte: Croplife Canadá



As práticas preventivas, como a rotação de culturas e a gestão da nutrição do solo, têm se beneficiado significativamente das tecnologias digitais. Essas ferramentas permitem o monitoramento contínuo das lavouras, possibilitando a identificação precoce de possíveis problemas. A partir desse monitoramento, é possível priorizar intervenções precisas e eficazes, utilizando uma combinação de ferramentas químicas, biológicas e físicas. Essa abordagem integrada não apenas otimiza o uso de recursos, mas também reduz o impacto ambiental e aumenta a resiliência das culturas frente aos desafios climáticos e ao ataque de pragas.

Além disso, a aplicação responsável de produtos para controle de pragas, aliada à implementação de estratégias de MIP, como a rotação de grupos químicos, desempenha um papel crucial na mitigação do risco de desenvolvimento de resistência em insetos e plantas daninhas.

O Brasil, com sua agricultura em clima tropical, enfrenta desafios únicos relacionados à alta incidência e evolução de pragas. Fatores como o aumento de áreas cultivadas, múltiplas safras anuais, resistência de pragas e fitopatógenos, surgimento de pragas exóticas e intensificação do monocultivo contribuem para essa dinâmica. Além disso, a conversão de pastagens degradadas em sistemas agrícolas e o aumento da demanda internacional por alimentos intensificam a pressão sobre o setor.

Para lidar com esses desafios, a agricultura brasileira precisa de estratégias inovadoras e integradas que combinem tecnologia, manejo sustentável e políticas públicas eficazes. Assim, o país pode consolidar sua posição como líder global na produção agrícola sustentável, garantindo produtividade, competitividade e conservação ambiental para as futuras gerações. ■







A person wearing a white lab coat is holding a bunch of fresh, vibrant green lettuce. The background is a greenhouse with a white plastic covering and metal frames. The scene is brightly lit, suggesting natural light. The overall tone is clean and fresh, emphasizing sustainable agriculture.

Cap. 5

BIOINSUMOS

Inovações sustentáveis
inspiradas na natureza

Os BIOINSUMOS são essenciais para o avanço da agropecuária sustentável e competitiva

EM UM mundo cada vez mais impactado pelas mudanças climáticas, a inovação inspirada na natureza vem ganhando cada vez mais espaço no desenvolvimento sustentável. O setor agropecuário, na busca contínua de avanços tecnológicos na produção de alimentos, fibras e energia, enfrenta agora o desafio de adotar soluções que minimizem os danos ao meio ambiente e promovam uma produção mais eficiente e equilibrada.

Os bioinsumos surgem como uma resposta inovadora a essa demanda. Eles são considerados tecnologias com capacidade para melhorar o manejo agrícola, oferecendo produtos complementares às novas cultivares e aos insumos químicos tradicionais, como fertilizantes e defensivos.

Um exemplo que ilustra essa transformação é a substituição parcial dos fertilizantes nitrogenados sintéticos pelos bioinsumos de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), uma tecnologia que utiliza bactérias capazes de fixar o nitrogênio atmosférico diretamente no solo, reduzindo a necessidade de compostos químicos. Além de diminuir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), essa técnica aumenta a eficiência do uso de nutrientes e diminui a dependência de insumos externos.

A expansão no uso de bioinsumos, como bioinseticidas, biofungicidas, bionematicidas e inoculantes, evidencia o quanto esses produtos são uma solução eficaz para o controle de pragas e doenças, além de melhorarem a fertilidade do solo em culturas como soja, milho, cana-de-açúcar, batata, tomate e outras.

A utilização de microrganismos, extratos vegetais e substâncias de origem biológica permite não apenas uma agricultura de menor impacto, mas também mais produtiva a longo prazo, com benefícios para biodiversidade, saúde do solo, recursos hídricos e para a qualidade dos alimentos produzidos.

Os bioinsumos desempenham um papel fundamental na promoção de uma agricultura mais sustentável e competitiva, especialmente no Brasil, onde o crescimento médio do mercado de bioinsumos nos últimos três anos foi de 21% ao ano, 4 vezes a taxa de crescimento global.

O crescimento dos bioinsumos na agricultura marca uma transformação essencial rumo a produção mais equilibrada e resiliente, com projeções de que o mercado brasileiro triplique até 2030.

Ao integrar soluções inspiradas na natureza, como microrganismos e extratos vegetais, o setor agropecuário não apenas melhora a eficiência produtiva e a saúde dos solos, mas também responde de maneira sustentável aos desafios climáticos. Essa tendência crescente consolida os bioinsumos como ferramentas indispensáveis para uma agricultura moderna, competitiva e em sintonia com as demandas ambientais.



Uma combinação de soluções biológicas com potencialidades diversas

OS BIOINSUMOS representam uma classe de produtos de origem biológica que oferecem soluções inovadoras para o agronegócio. Eles são desenvolvidos a partir de organismos vivos, como microrganismos, insetos, plantas, e de substâncias de origem natural, que atuam no cultivo agrícola para melhorar o desempenho das lavouras.

Os bioinsumos são amplamente utilizados para promover o crescimento das plantas, controlar pragas e doenças, aumentar a fertilidade do solo e até fortalecer a resistência das culturas frente às condições ambientais adversas.

Os conceitos dentro da classe de bioinsumos podem variar de acordo com a região e o ambiente em que são discutidos, incluindo universidades, empresas ou órgãos governamentais. Por isso, é fundamental estabelecer uma referência comum. Foi exatamente isso que o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) realizou ao promover um diálogo com diferentes atores do setor produtivo, empresarial e governamental, culminando no Decreto

nº 10.375 de 2020 que institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos.

De acordo com o Decreto 10.375, bioinsumo é definido como o produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos.

O Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) estabelece que um ativo biológico é considerado um microrganismo, planta, invertebrado, substância bioativa, feromônio, entre outros.

Nesse contexto, os bioinsumos são produtos desenvolvidos a partir de um ou mais ativos biológicos. A depender de sua função e composição, recebem diferentes nomenclaturas:

BIODEFENSIVOS

São microrganismos, inimigos naturais ou substâncias de ocorrência natural introduzidos no ambiente com o objetivo de controlar populações ou atividades biológicas de organismos considerados nocivos. Essa categoria inclui os produtos bioquímicos, os microrganismos e os macrorganismos.

BIOFERTILIZANTES

Insumo que contém componentes ativos ou substâncias orgânicas, obtido de microrganismos ou a partir da atividade destes, bem como seus derivados de origem vegetal e ani-

mal, com capacidade de atuar direta ou indiretamente sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, no aumento de sua produtividade ou na melhoria de sua qualidade.

BIOESTIMULANTES

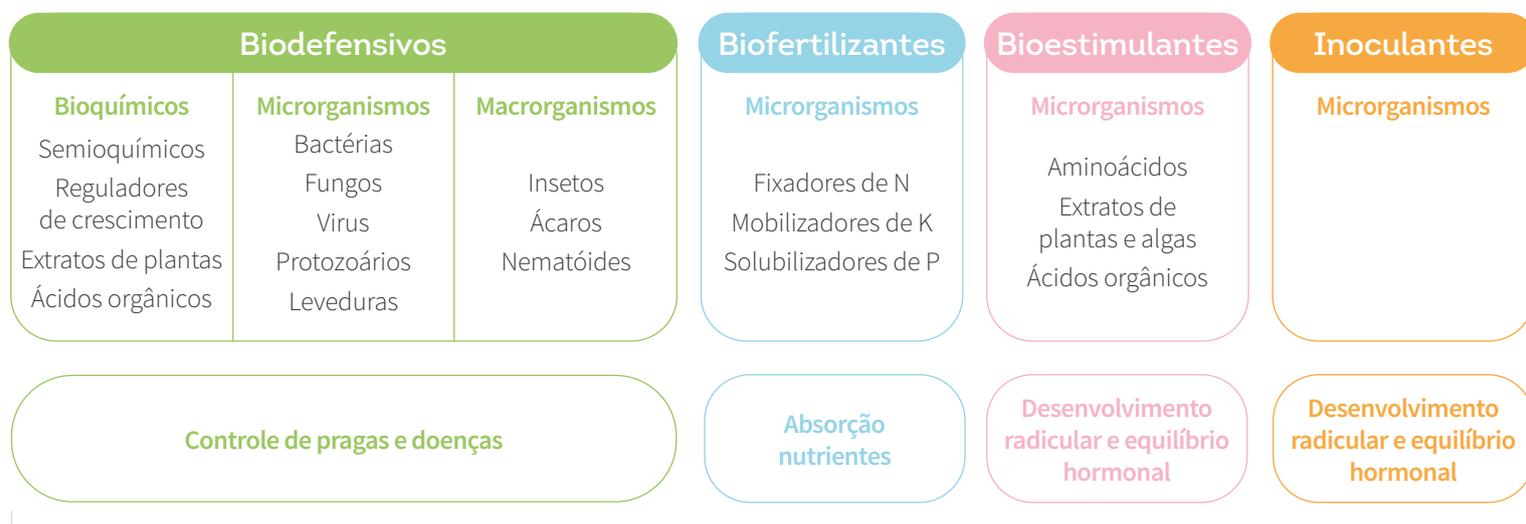
Produto que contém substância natural com diferentes composições, concentrações e proporções, que pode ser aplicado diretamente nas plantas, nas sementes e no solo, com a finalidade de incrementar a produção, melhorar a qualidade de sementes, estimular o desenvolvimento radicular, favorecer o equilíbrio hormonal da planta e o desenvolvimento vegetal.

INOCULANTES

Produto, processo ou tecnologia que contém microrganismos com atuação favorável ao desenvolvimento de plantas.

Segmentação do mercado de BIOINSUMOS

Fonte: Programa Nacional de Bioinsumos



FUNÇÕES

É essencial que o arcabouço regulatório reconheça as funcionalidades dos BIOINSUMOS

O MERCADO de bioinsumos enfrenta desafios significativos devido à multifuncionalidade dos ativos biológicos, o que gera complexidades tanto na terminologia quanto na regulamentação. Atualmente, a maioria dos ativos registrados é classificada como biodefensivos. Contudo, muitos desses produtos desempenham funções que poderiam enquadrá-los como biofertilizantes, inoculantes ou bioestimulantes, realizando processos como fixação de nitrogênio, mobilização de potássio, solubilização de fósforo e indução de defesa nas plantas.

Para estimular a inovação no setor, é essencial que o arcabouço regulatório evolua para reconhecer e diferenciar as diversas funções dos bioinsumos, além de se preparar para a incorporação de biotecnologias avançadas no desenvolvimento de novos produtos. Isso permitirá não apenas um crescimento mais sustentável e abrangente do mercado, mas também promoverá a adoção de práticas agrícolas inovadoras e de menor impacto ambiental.

A evolução dos BIOINSUMOS revela como a natureza é uma fonte constante de inspiração para a inovação

A utilização de bioinsumos no controle de pragas é uma prática com mais de 3.000 anos de história e que ganhou destaque nos últimos tempos, especialmente no Brasil, com o avanço de práticas agrícolas modernas e sustentáveis.

A HISTÓRIA dos bioinsumos no Brasil ganhou impulso na década de 1970 com um programa pioneiro liderado pela Embrapa, que introduziu o uso de ativos biológicos para controlar pulgões nas plantações de trigo no Rio Grande do Sul. Essa iniciativa resultou em um maior controle no uso de inseticidas, demonstrando o grande potencial dos bioinsumos como uma estratégia eficaz para o manejo de pragas e impulsionando futuras pesquisas no setor.

A década de 1980 trouxe novas descobertas, como o uso do vírus *Baculovirus anticarsia* contra a lagarta da soja e a introdução de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp., como fixadores de nitrogênio e que passaram a complementar a aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura de soja e feijão. Na

década de 1990 a adoção de bioinsumos, na soja, já ultrapassava 1,2 milhão de hectares.

Entre 2000 e 2010, o uso de bioinsumos se consolidou, especialmente na cultura da cana-de-açúcar, onde mais de 3 milhões de hectares eram tratados com agentes biológicos de controle.

Esse período marcou a estabilização de um dos programas de controle biológico mais duradouros do país, focado na gestão de pragas como a broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) e a cigarrinha-da-cana-de-açúcar (*Mahanarva fimbriolata*). Esses programas, amplamente adotados até hoje, utilizam o parasitoide *Cotesia flavipes* e o himenóptero *Trichogramma galloi* para o controle da broca-da-cana, e o fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* para o controle da cigarrinha-da-cana.

Os bioinsumos começaram a ganhar destaque como parte integral do Manejo Integrado de Pragas (MIP), onde são utilizados em conjunto com defensivos químicos.

No MIP, os bioinsumos desempenham um papel duplo: além de atuarem no controle e prevenção de pragas e doenças, ajudam a prevenir a resistência biológica das pragas aos defensivos químicos. Essa abordagem integrada permite um controle mais sustentável e reduz a pressão seletiva sobre as populações de pragas, prolongando a eficácia dos químicos e fortalecendo o uso dos bioinsumos como ferramenta essencial no manejo de pragas.

A estruturação dos bioinsumos na primeira década dos anos 2000 deixou o terreno preparado para o desenvolvimento de tecnologias biológicas no combate de uma das mais prejudiciais pragas para as lavouras de soja, milho, algodão e feijão, a *Helicoverpa ar-*

migera. Assim que o surto dessa praga ocorreu no Brasil (2012 – 2013) os pesquisadores já possuíam conhecimento do potencial de bioinsumos formulados. Com isso, foram rápidos em realizar coletas de lagartas e conduzir testes para desenvolvimento de bioinseticidas de alta eficiência.

Foi então que se chegou ao desenvolvimento de bioinseticidas empregando *Bacillus thuringiensis* (Bt) e vírus, como o *Nucleopolyhedrovirus* (HearNPV), que mostraram grande eficácia e salvaram diversas safras.

Nesse período, houve caracterização das espécies do gênero *Bradyrhizobium spp.* e *Azospirillum spp.* e desenvolvimento de bioinsumos de coinoculação para fixação de nitrogênio, mais modernos e que expandiram o uso desse tipo de bioinsumos nas culturas.



Principais marcos do mercado de BIOINSUMOS

1000 a.C.

Primeiro registro de controle biológico: uso de formigas na China para combater pragas em laranjais.

1920s

Primeira aplicação de bioinsumos no Brasil: vespas *Encarsia berleseii* e *Aphelinus mali* para controle da cochonilha-do-pessegueiro e do pulgão-da-maciceira.

1970s

Primeiro caso de sucesso com bioinsumos no Brasil: em 1978, Embrapa introduziu parasitoides para controlar pulgões no trigo no RS.

1980-1990

Mudança na percepção dos bioinsumos: combate à lagarta *Anticarsia gemmatalis* na soja com o vírus *Baculovirus anticarsia* (AgNPV).

Início anos 2000

Reestruturação do mercado de bioinsumos: empresas nacionais e multinacionais investem em formulações mais concentradas e eficazes, focadas em grandes culturas.

2010

Programas de controle biológico consolidados impulsionam seu uso: na soja, milho, algodão e feijão.

2013

Surto da praga *Helicoverpa armigera* no Brasil: Devasta culturas de soja, milho e algodão. Pesquisadores respondem com bioinseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) e *Nucleopolyhedrovirus* (HearNPV), com resultados extremamente positivos.

2010-2020

A P&D de bioinsumos avança: crescimento de registro de bioinsumos no MAPA, ampliando seu uso na soja, milho, cana-de-açúcar, algodão e café.

2020

O Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) é instituído

2020-2023

Empresas intensificam investimentos em P&D, e a adoção de bioinsumos cresce nas principais culturas brasileiras: para fortalecer o setor, tramitam os PLs 658/2021 e 3668/2021.

2023

Mais de 200 inimigos naturais foram identificados: impulsionamento no desenvolvimento de bionemáticas para tratamento de sementes.

Diante do vasto potencial dos bioinsumos para a agricultura, o setor tem registrado um crescimento expressivo no número de empresas que investem em pesquisa e desen-

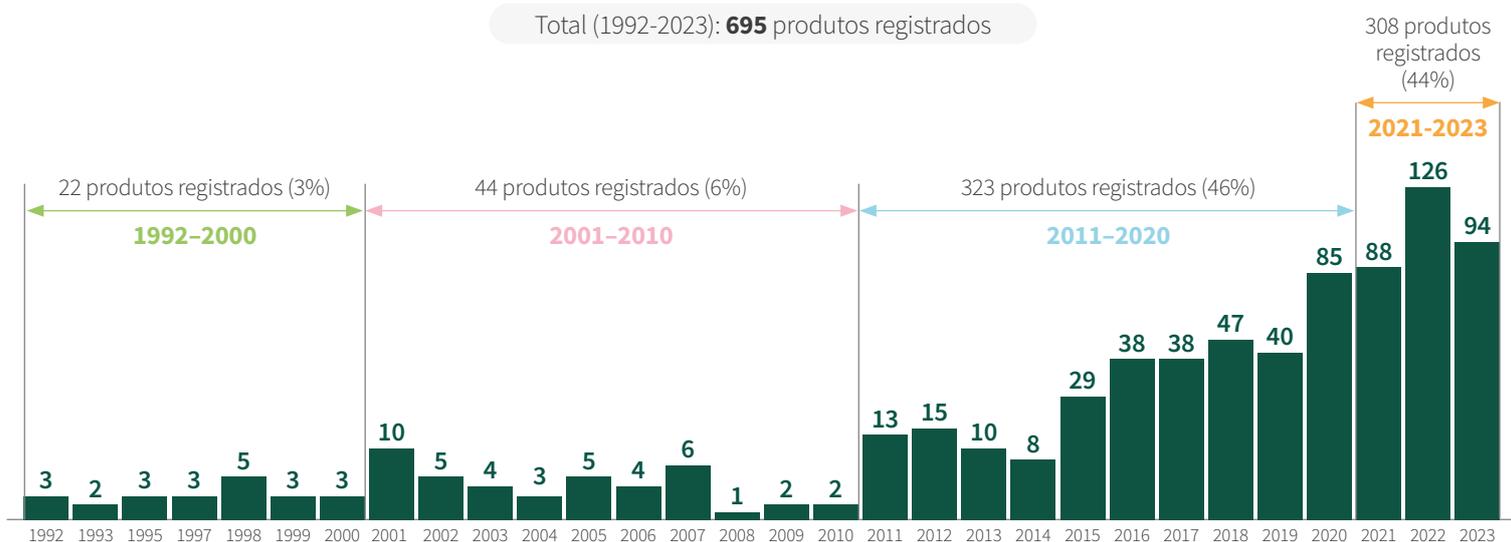
volvimento nessa área. Esse avanço acelerado é evidenciado pela expansão da oferta de ativos biológicos, além do surgimento de novas formulações e técnicas de aplicação.

Como resultado, houve um aumento significativo no número de registros desses produtos, com 44% do total de registros aprovados desde 1992 concentrados nos últimos três anos (de 2021 a 2023), promovendo uma verdadeira revolução no mercado de bioinsumos no Brasil.

Atualmente, os bioinsumos representam uma estratégia essencial para o MIP, além de contribuírem para a saúde e regeneração do solo, proteção dos recursos hídricos e da biodiversidade. Essa abordagem alia tradição e inovação, oferecendo alternativas eficazes e ecologicamente responsáveis que atendem à crescente demanda por uma agricultura sustentável. ■

Resultados no campo impulsionam adoção, P&D e registros de BIOINSUMOS

Fonte: MAPA, Agroconsult, 2023



BIOINSUMOS no Brasil: crescimento expressivo e liderança global no setor

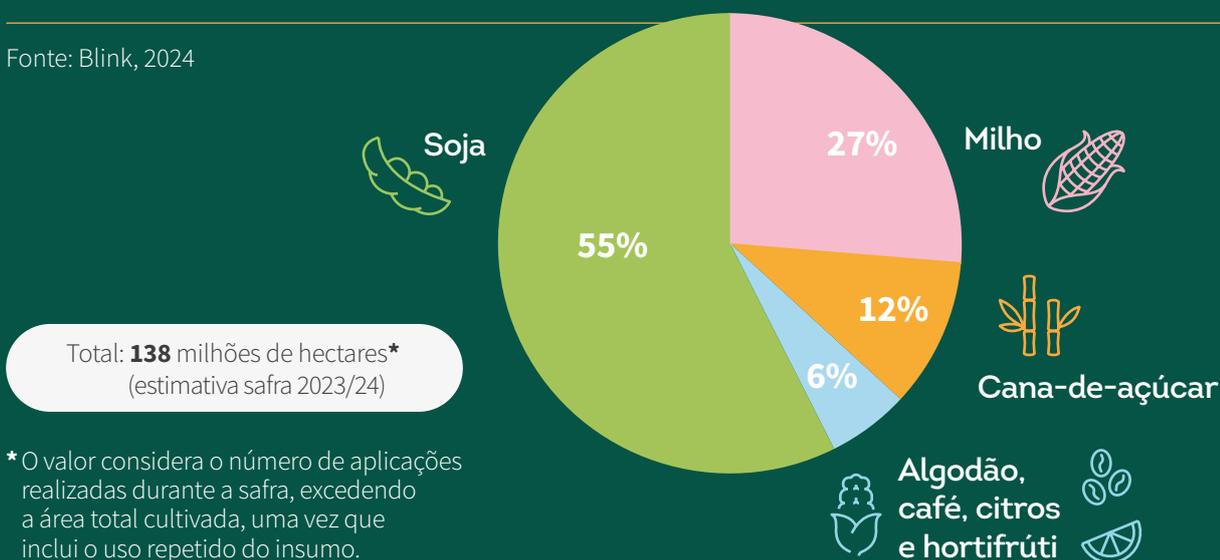
NO BRASIL, a área potencial tratada (PAT) com bioinsumos é estimada em 138 milhões de hectares nas principais culturas, representando 11% da área total tratada nas lavouras do país na safra de 2023/2024. A adoção é mais expressiva no Estado do Mato Grosso, concentrando 33% do uso de bioinsumos, seguido por Goiás (13%) e São Paulo (9%), com os demais estados variando entre 1% e 7%. Entre as culturas, a soja destaca-se, com 94 milhões de hectares cultivados com bioinsumos, equivalente a 55% do total utilizado. Em seguida, o milho cobre 29 milhões de hectares (27%), enquanto a cana-de-açúcar ocupa 10 milhões de hectares (12%). As demais culturas, incluindo algodão, café, citros e hortifrúti como batata, cebola, cenoura e tomate, somam 6% do total de bioinsumos aplicados. Importante destacar que, ao se

referir ao PAT, os valores levam em conta o número de aplicações realizadas durante a safra. Esse número frequentemente excede a área total cultivada, uma vez que inclui o uso repetido do insumo em ciclos sucessivos ou múltiplas aplicações ao longo do ano.

Na safra 2023/2024, o mercado de bioinsumos movimentou 5 bilhões de reais. Esses números refletem uma adoção crescente e abrangente de bioinsumos, impulsionada pela busca por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, que trazem benefícios significativos ao manejo de culturas em larga escala.

Uso de BIOINSUMOS por cultura no Brasil

Fonte: Blink, 2024



O uso de bioinsumos cresce a cada safra. Nos últimos três anos, o mercado de bioinsumos no país teve um aumento médio anual de 21%, o que é quatro vezes superior à média global.

As projeções para o mercado de bioinsumos indicam uma área potencial tratada (PAT) de 233 milhões de hectares até a safra de 2027/2028, com o maior crescimento previsto para a soja, que deve alcançar 152 milhões de hectares. Outras estimativas incluem 54 milhões de hectares para o milho, 16 milhões para a cana-de-açúcar, 6 milhões para o algodão, 2 milhões para café e citros, e 487 mil hectares para hortifrutis. ■

Expertise na agricultura tropical impulsiona potencial de exportação de soluções biológicas para o mundo

O BRASIL possui uma expertise consolidada na pesquisa, desenvolvimento e adoção de bioinsumos, especialmente voltados para a agricultura tropical. O conhecimento acumulado em décadas de pesquisa e adoção no campo confere ao país um domínio técnico profundo, que já se traduz em inovação constante e produtos de alta eficácia para a agricultura brasileira.

Com uma infraestrutura de P&D apoiada por universidades, institutos de pesquisa e uma indústria que investe ativamente na criação de novos bioinsumos, o Brasil tem o potencial de se tornar uma plataforma global de inovação e exportação no setor. ■

A expertise brasileira em adaptar bioinsumos a condições tropicais complexas é um diferencial competitivo, permitindo ao país oferecer soluções específicas e comprovadas que podem beneficiar outros países com condições ambientais e agrícolas similares.

É essencial investir na capacitação do setor e na inovação em formulações

Atualmente, os principais desafios para o aumento na adoção de bioinsumos pelos produtores estão relacionados à capacitação dos profissionais do setor e ao desenvolvimento de formulações de produtos que atendam às exigências do campo.

A **CAPACITAÇÃO** é crucial, pois o uso eficaz dos bioinsumos demanda conhecimento técnico especializado. Produtores, agrônomos e técnicos precisam compreender as características dos bioinsumos, incluindo a biologia dos microrganismos e suas interações no solo, além das práticas adequadas de aplicação. Esse conhecimento é fundamental para otimizar os benefícios e garantir que os bioinsumos sejam aplicados de forma a preservar sua viabilidade e eficácia.

A falta de programas de capacitação contínuos pode resultar em aplicação inadequada, reduzindo a eficácia dos bioinsumos e gerando dúvidas quanto ao seu valor.

Além disso, o desenvolvimento de formulações de bioinsumos é outro desafio. Muitos produtos biológicos dependem de organismos vivos, como bactérias e fungos, que são sensíveis a condições ambientais como temperatura, umidade e luz.

Criar formulações estáveis que garantam a viabilidade desses organismos desde o transporte até a aplicação em campo é complexo e exige tecnologias avançadas. O desenvolvimento de produtos com maior vida útil, facilidade de aplicação e compatibilidade com os sistemas de cultivo modernos requer investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Portanto, para que o mercado de bioinsumos atinja seu potencial máximo, é essencial investir tanto na capacitação do setor quanto na inovação em formulações, promovendo produtos biológicos eficazes e acessíveis para uma agricultura mais sustentável e competitiva. ■



Empresas no Brasil e no mundo investem para transformar descobertas científicas em BIOINSUMOS comerciais

A pesquisa e desenvolvimento de bioinsumos no Brasil tem se destacado como um campo dinâmico e inovador, impulsionado tanto por uma base acadêmica sólida quanto pelo investimento crescente da indústria.

STARTUPS E empresas emergentes estão cada vez mais comprometidas em transformar descobertas científicas em produtos comerciais.

Quando observamos os dados globais, verificamos que o investimento médio de desenvolvimento de um produto biológico é de US\$ 6 a US\$ 10 milhões.

O valor está relacionado à complexidade do processo, desde a seleção até a produção de um produto comercial viável. De cada 5 mil organismos isolados, apenas cerca de dois chegam ao mercado. Essa seletividade reflete um esforço contínuo para fortalecer a produção de bioinsumos de alta qualidade, oferecendo soluções eficazes e alinhadas às exigências ambientais e produtivas da agricultura moderna.

INVESTIMENTO necessário para o desenvolvimento de um BIOINSUMO

Fonte: Agroconsult, 2023



O desenvolvimento de um BIOINSUMO envolve inúmeras etapas e análises

O PROCESSO de desenvolvimento de bioinsumos segue etapas rigorosas que incluem a identificação de novos ativos biológicos, a padronização de formulações, avaliações de campo e testes de segurança para garantir a eficácia do produto, além de sua segurança para o meio ambiente, saúde humana

e animal. Após essas etapas, o bioinsumo passa pelo registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que regulamenta sua utilização no Brasil. Esse caminho garante a consistência e a confiabilidade dos produtos biológicos oferecidos no mercado.

Pesquisa e desenvolvimento de BIOINSUMOS

Fonte: Marrone Bioinnovations, 2019



O desenvolvimento de um bioinsumo não ocorre apenas com a descoberta de um novo ativo biológico, técnicas de melhoramento genético também são aplicadas a ativos biológicos, um processo que inclui tanto métodos clássicos quanto biotecnológicos.

Exemplos notáveis desse tipo de melhoramento incluem cepas de microrganismos como *Trichoderma harzianum*, *Bacillus*

amyloliquefaciens, *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, cujas características podem ser aprimoradas para oferecer maior eficiência no controle de doenças em diferentes condições ambientais. A técnica de fusão de protoplastos, por exemplo, permitiu o desenvolvimento da cepa T22 de *Trichoderma harzianum*, resultante da combinação de duas cepas com competências distintas: uma adaptada à rizosfera e outra a condições de ferro limitante. Esse aprimoramento genético elevou a capacidade do T22 em controlar doenças em várias condições ambientais.

Além dessas estratégias, a aplicação de tecnologias “omics” – como metagenômica e transcriptômica – possibilita a identificação e combinação de espécies promissoras para a criação de bioinsumos mais sofisticados.

Esse conhecimento sobre a interação entre microrganismos e plantas está impulsionando um conceito emergente no setor de bioinsumos: o *SynCom* (Synthetic Microbial Community), ou Comunidade Microbiana Sintética. Diferente das formulações convencionais que normalmente incluem apenas um ou poucos ativos biológicos, o *SynCom* cria comunidades microbianas artificiais que replicam a diversidade e funcionalidade de microbiomas naturais. Essa abordagem promete oferecer uma proteção mais duradoura e adaptável às plantas, ao integrar múltiplos isolados microbianos em uma comunidade sinérgica que se adapta melhor a variações ambientais e ao combate de patógenos.

A chegada do SynCom e outras tecnologias ao mercado de bioinsumos representa uma nova fronteira para os bioinsumos e a melhoria da resiliência das plantas.

Essas inovações não só ampliam a eficiência dos bioinsumos, mas também posicionam o Brasil na vanguarda de uma agricultura mais sustentável e capaz de enfrentar desafios climáticos e produtivos com soluções inspiradas na própria natureza. ■



Desafios regulatórios na versatilidade dos BIOINSUMOS

A **PESQUISA** e desenvolvimento de bioinsumos enfrenta desafios significativos devido à complexidade dos processos regulatórios para o registro de produtos que contêm o mesmo ativo biológico. Um exemplo claro é o fungo *Trichoderma* spp., amplamente utilizado em diversas aplicações agrícolas, como bioestimulantes, biofertilizantes e biodefensivos. Embora *Trichoderma* spp. seja o ativo principal em todas essas formulações, cada tipo de produto exige um registro separado, com processos específicos dependendo da sua classificação (por exemplo, proteção de plantas ou estimulação do crescimento).

A versatilidade de um único ativo biológico, como o *Trichoderma* spp., cria uma demanda regulatória complexa, pois o mesmo agente

pode apresentar efeitos diretos, como controle de patógenos, e efeitos indiretos, como estimulação do crescimento e aumento da resistência das culturas. Essa situação obriga pesquisadores e empresas a navegarem por diferentes processos de registro para cada aplicação, tornando o desenvolvimento de bioinsumos mais demorado e oneroso.

Em síntese, a multifuncionalidade de ativos como o *Trichoderma* spp. destaca a necessidade de uma regulamentação mais integrada, que reconheça sua versatilidade e permita um sistema de registro simplificado e unificado. Isso facilitaria a aplicação de seus múltiplos benefícios, promovendo um acesso mais eficiente a soluções inovadoras para a agricultura. ■



BIOINSUMOS

proporcionam múltiplos benefícios na transição para o desenvolvimento sustentável

A **EVOLUÇÃO** dos bioinsumos no Brasil reflete um compromisso crescente com a inovação e a sustentabilidade agrícola.

Ao longo dos anos, o desenvolvimento e a adoção de bioinsumos nas principais culturas do país trouxeram inúmeros benefícios, não apenas para a produtividade e qualidade das safras, mas também para o meio ambiente e a economia agrícola.

A expansão de seu uso está mudando a forma como os agricultores enfrentam o controle de pragas, doenças e a fertilidade do solo, proporcionando uma alternativa eficaz e de menor impacto ambiental em comparação aos insumos químicos convencionais.

O uso de bioinsumos no Brasil explora amplamente o potencial da biodiversidade local, promovendo a independência de insumos importados e diversificando a oferta de matérias-primas no setor agrícola.

Além de diminuir a necessidade de produtos químicos convencionais, os bioinsumos desempenham um papel crucial na preservação da biodiversidade dentro dos sistemas produtivos. Ao criar condições favoráveis para organismos benéficos, como polinizadores e predadores naturais, eles contribuem para o equilíbrio dos ecossistemas agrícolas. Com sua baixa toxicidade para espécies não-alvo, como insetos polinizadores, aves e mamíferos, os bioinsumos ajudam a proteger as cadeias alimentares e a preservar a fauna local.

Outro benefício notável dos bioinsumos está em sua capacidade de proteger os corpos d'água, diminuindo a contaminação e aumentando a retenção hídrica, o que favorece a flora e fauna. No solo, os bioinsumos também têm o potencial de aumentar o teor de matéria orgânica, facilitando a infiltração de água e reduzindo a erosão e a perda de nutrientes e sedimentos para os cursos d'água.

Além de favorecerem a saúde do solo e a biodiversidade, os bioinsumos desempenham um papel essencial na mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Ao reduzir a dependência de fertilizantes e defensivos químicos, eles contribuem significativamente para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas à produção e ao transporte de insumos químicos, frequentemente dependentes de combustíveis fósseis.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados, liberam óxido nitroso (N_2O), um GEE cerca de 300 vezes mais potente que o dióxido de carbono (CO_2). No Brasil, esses insumos são uma das principais fontes de emissões de GEE nos solos

agrícolas, e a adoção de alternativas biológicas não só reduz essas emissões, como também aumenta a capacidade de armazenamento de carbono no solo.

Estima-se que a adoção de bioinsumos que promovem fixação biológica de nitrogênio, amplamente adotada na cultura da soja, tenha evitado a emissão de 206 milhões de toneladas de CO_2 equivalente apenas na safra de 2020/2021 (LACLIMA, 2024). Esse impacto positivo faz com que os bioinsumos integrem o Plano ABC (2010-2020) e o Plano ABC+ (2020-2030) como uma das tecnologias sustentáveis de manejo, especialmente para culturas em grande escala.

Benefícios da adoção de BIOINSUMOS

Segurança alimentar

Inovações para produção de alimentos no campo com aumento de produtividade e baixo efeito residual.



Mitigação e adaptação às mudanças climáticas

Como parte do novo pacote tecnológico, mais sustentável para o campo. Traz redução no uso de defensivos e fertilizantes químicos.



Eficiência Nutricional

Melhoram a absorção de nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo.



Saúde do Solo

Bioinsumos aumentam a matéria orgânica e promovem a atividade microbiana, melhorando a estrutura e a fertilidade do solo.



Redução de resistência a pragas e doenças

Diversificam as formas de controle e reduzem a pressão de seleção sobre as pragas, retardando o desenvolvimento de resistência a produtos químicos.



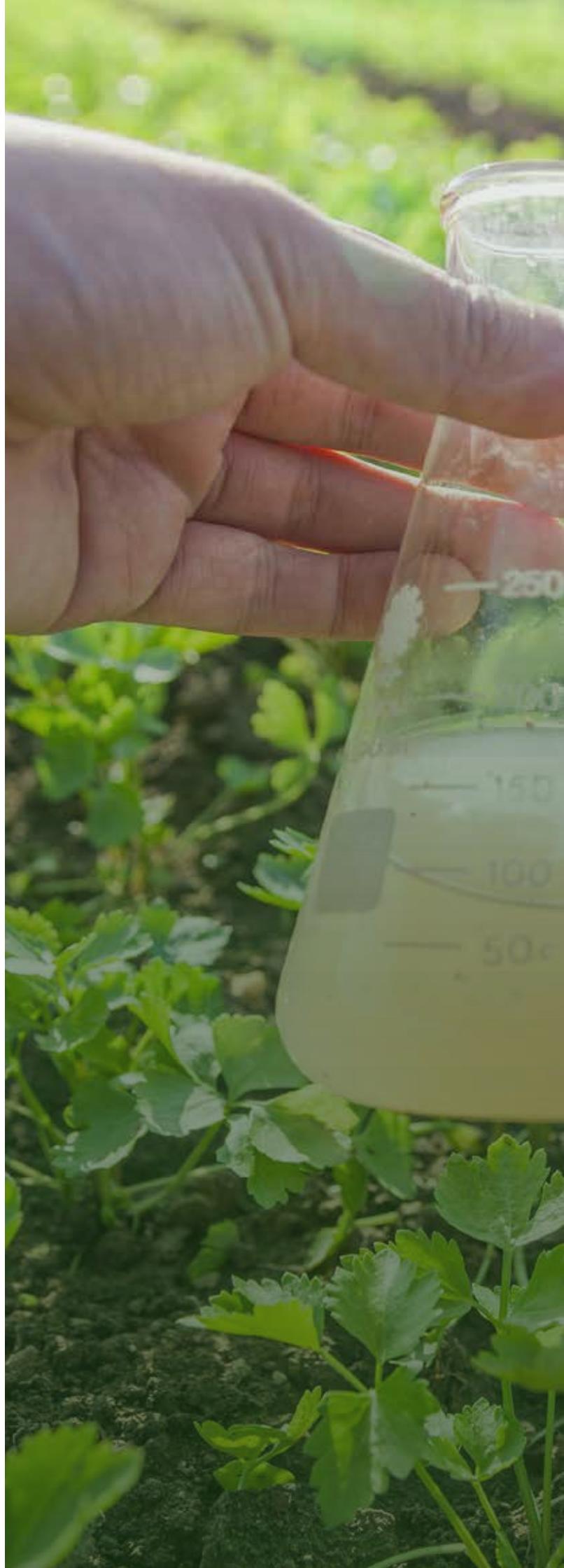
Sustentabilidade para o ecossistema agrícola

Tecnologias de baixo efeito residual nos solos e recursos hídricos favorecendo a biodiversidade no campo.

Embora os bioinsumos tenham avançado significativamente, ainda existem desafios a serem superados para otimizar seu impacto na mitigação das mudanças climáticas. A eficiência dos bioinsumos na redução de emissões depende de fatores como o tipo de produto utilizado, as características do solo e as práticas de manejo adotadas. Dessa forma, estudos mais detalhados são indispensáveis para compreender seus efeitos em diferentes condições agrícolas e climáticas. Esse conhecimento, com base científica, é fundamental para que o setor agrícola aproveite plenamente o potencial dos bioinsumos e amplie sua contribuição para uma agricultura mais sustentável.

Ao integrar os bioinsumos na prática agrícola, o Brasil dá um passo importante para garantir a sustentabilidade de sua agricultura, em alinhamento com as demandas globais por sistemas produtivos mais ecológicos e menos dependentes de combustíveis fósseis.

A continuidade desse avanço dependerá de uma base legal e regulamentar sólida, que envolve discussões fundamentais sobre Legislação, Propriedade Intelectual e o Marco Legal da Biodiversidade, temas que sustentam o desenvolvimento e a proteção de tecnologias em bioinsumos. ■



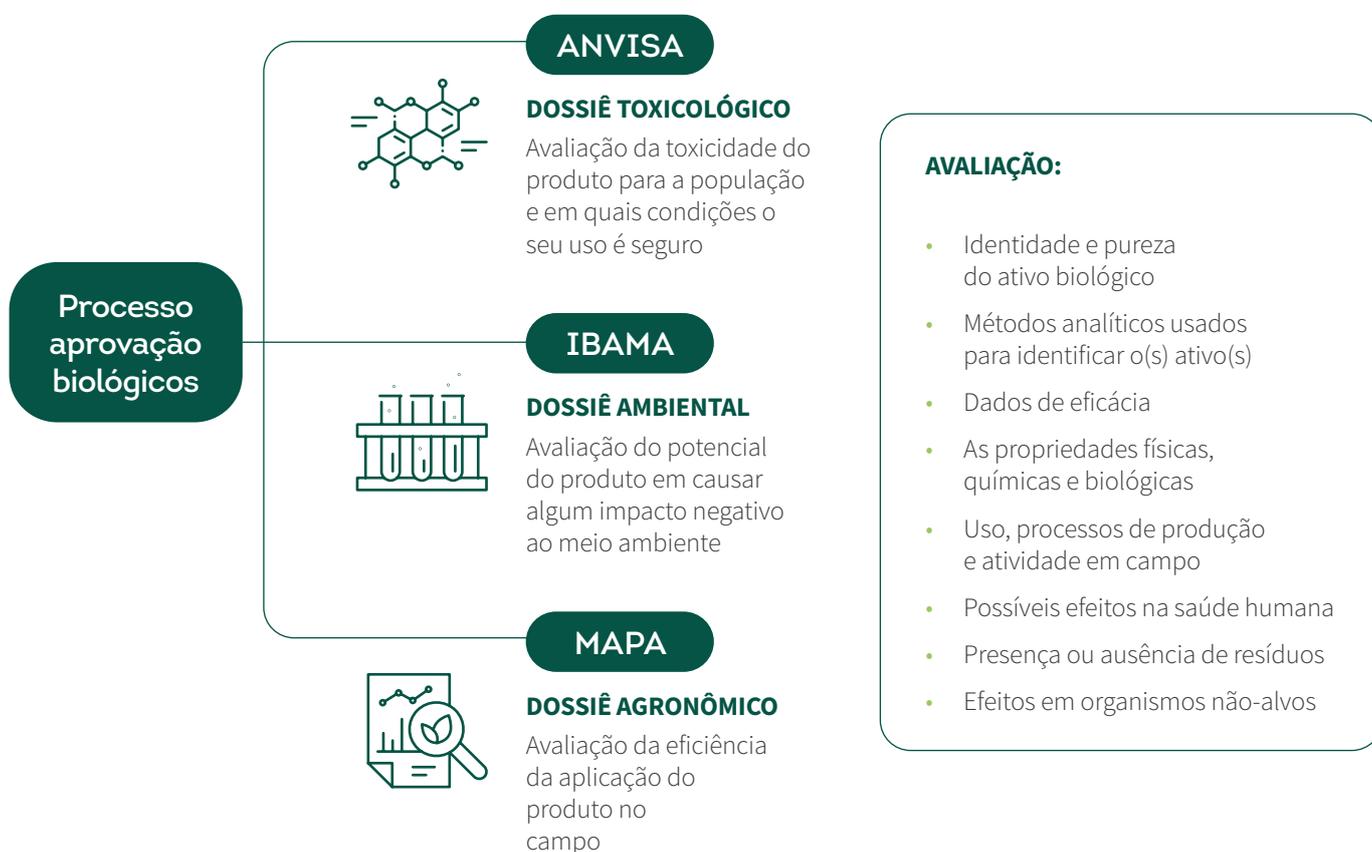
O Brasil avança na estruturação de normas para o setor de BIOINSUMOS

ATUALMENTE, OS bioinsumos são regulados no Brasil por legislações destinadas a produtos químicos, sintéticos ou minerais, como a Lei de Agrotóxicos (Lei 14.785/2023), a Lei de Fertilizantes (Lei 6.894/1980) que estabelece normas para inoculantes e biofertilizantes e a Lei Federal nº 10.831/2003 que trouxe regramento para

a produção e comercialização dos produtos orgânicos no Brasil, a qual contempla o uso de métodos biológicos para a produção agropecuária. Essas regulamentações, adaptadas por normas infralegais, buscam abranger as tecnologias emergentes e a multifuncionalidade dos bioinsumos para o uso agrícola.

Processo regulatório de BIOINSUMOS no Brasil

Fonte: Agroconsult, 2023





Sancionada recentemente, a Lei Federal nº 14.785/2023 e suas normas relacionadas trouxeram um avanço ao estabelecer protocolos diferenciados para a avaliação de produtos biológicos, dispensando-os de algumas exigências aplicáveis aos produtos químicos e incluindo outras mais adequadas aos biológicos.

Essa abordagem visa simplificar o desenvolvimento e a comercialização de bioinsumos, refletindo o reconhecimento de sua natureza menos impactante ao meio ambiente.

No entanto, permanecem desafios para o setor, especialmente quando o registro envolve produtos à base de microrganismos da mesma espécie, mas com finalidades distintas (à exemplo o caso do *Trichoderma spp.*), o que frequentemente exige estruturas regulatórias separadas. Com isso, há necessidade de normas específica para bioinsumos sanando essas incertezas e possível sobreposição.

O Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) representou um marco inicial e importante para o setor, buscando incentivar a produção nacional e promover a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e inovação tecnológica. Embora seja um passo significativo, o PNB é, juridicamente, um programa orientador e não um regulamento específico. Ele estabelece diretrizes amplas, sem trazer normas concretas para o mercado de bioinsumos.

Com o crescimento acelerado desse mercado e os custos envolvidos no desenvolvimento de novos bioinsumos, a criação de um marco regulatório específico é essencial para garantir previsibilidade aos investimentos e segurança jurídica para empresas e produtores. Esse arcabouço regulatório traria clareza quanto às diferentes modalidades de produção, desde a produção para uso próprio nas fazendas até a produção em escala industrial, alinhando o setor às necessidades dos produtores e contribuindo para uma agricultura sustentável e competitiva.



Avanços na propriedade intelectual revelam incentivos ao setor de BIOINSUMOS no Brasil

O **PROCESSO** de proteção intelectual e registro de bioinsumos no Brasil enfrenta complexidades devido à natureza de seus componentes.

A Lei de Propriedade Industrial (Lei nº 9.279/1996) estabelece que materiais biológicos naturais, como microrganismos e processos biológicos encontrados na natureza, não podem ser patenteados.

Isso limita a possibilidade de proteger esses ativos biológicos por meio de patentes, restringindo o alcance da propriedade intelectual no setor de bioinsumos. No entanto, é possível patentear formulações de produtos ou métodos de obtenção desses bioinsumos, o que ainda garante proteção comercial, embora de forma mais restrita.

Outro ponto fundamental é o Marco Legal da Biodiversidade (Lei nº 13.123/2015), que estabelece diretrizes para o acesso ao patrimônio genético e a repartição de benefícios.

Essas normas, alinhadas ao Protocolo de Nagoia e a outras regulamentações internacionais, visam assegurar o uso sustentável da biodiversidade brasileira, mas impõem desafios adicionais, especialmente para empresas que trabalham com bioinsumos derivados de microrganismos ou extratos de plantas. Esse marco busca não apenas a proteção do patrimônio genético, mas também incentivar o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que respeitem os direitos sobre o conhecimento tradicional associado.

Recentemente, esforços para fomentar a inovação no setor incluem o Programa Patentes Verdes do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Lançado em 2016, o programa visa acelerar o exame de pedidos de patente de tecnologias que beneficiem o meio ambiente, oferecendo aos bioinsumos, especialmente pesticidas alternativos e melhoradores de solo, a possibilidade de trâmite prioritário no INPI. Entretanto, embora o programa represente um avanço, ele ainda não atende plenamente às necessidades de um setor em expansão, que demanda maior agilidade para acompanhar a inovação e a rápida evolução das tecnologias de bioinsumos.

Em 2024, o governo federal lançou o plano Nova Indústria Brasil, que estabelece a bioeconomia como uma das áreas prioritárias, destacando a propriedade intelectual como um instrumento estratégico para o desenvolvimento do setor.

Essas iniciativas demonstram que, embora o Brasil esteja avançando na estruturação de normas para bioinsumos, ainda há espaço para aprimorar os mecanismos de proteção intelectual e regulamentação, criando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento e à comercialização de tecnologias biológicas no país. ■



De olho no futuro

O MERCADO de bioinsumos avança para uma integração ainda mais sólida com a distribuição de defensivos químicos, criando um setor mais profissionalizado e inovador. A previsão é de uma adoção ainda mais ampla em culturas de grande escala, ampliando o portfólio para incluir biodefensivos, bioquímicos, biotecnologias e até soluções para herbicidas.

Esses avanços representam não apenas uma expansão de mercado, mas um compromisso com práticas agrícolas mais sustentáveis e adaptáveis. A P&D têm resultado em formulações mais eficazes e práticas, capazes de oferecer soluções de alta eficiência no campo e de reduzir a dependência de insumos químicos. Esse crescimento é impulsionado pela demanda por práticas que preservem a biodiversidade, a saúde do solo e minimizem os impactos ambientais.

Para que os bioinsumos se consolidem como um pilar da agricultura moderna, é essencial uma base regulatória robusta que reconheça e valorize a multiplicidade de funções dos bioinsumos, promovendo sua aplicação em larga escala. A adaptação à regulamentação internacional e a construção de infraestruturas logísticas apropriadas são igualmente fundamentais para tornar o Brasil uma plataforma competitiva de exportação de bioinsumos, capaz de valorizar a sustentabilidade da agricultura brasileira e fortalecer o agronegócio no mercado global. ■



Referências bibliográficas

- AGROCONSULT. 25 Anos de Transgênicos no Campo: Benefícios ambientais, econômicos e sociais no Brasil. Biotecnologia Agrícola. São Paulo: out. 2023.
- AGROCONSULT. Processo de P&D e Inovação no Agronegócio: Recursos Necessários e Estimativa de Investimento: Químicos, Biológicos, Sementes e Biotecnologia. Relatório elaborado para a Croplife Brasil. São Paulo: ago. 2024.
- Ahmad, S. et al. CRISPR/Cas9 for development of disease resistance in plants: recent progress, limitations and prospects. *Briefings in Functional Genomics*, v. 19, n. 1, p. 26–39, 2020.
- Albernaz, K. C.; Merlin, B. L.; Martinelli, S.; Head, G. P.; Omoto, C. Baseline susceptibility to Cry1Ac insecticidal protein in *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, v. 106, n. 4, p. 1819-1824, 2012.
- Anderson, J.; Ellsworth, P.; Faria, J.; Head, G.; Owen, M.; Pilcher, C., et al. Genetically engineered crops: Importance of diversified integrated pest management for agricultural sustainability. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 7, p. 24, 2019.
- Barroso, P. A. V.; Finardi, F.; Sbampato, I. (org). CTNBio 25 anos – Comissão Técnica Nacional de Biossegurança sob o olhar de seus Presidentes. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. 187 p.
- BLINK Inteligência Aplicada. Relatório de biológicos: cenário atual e projeções 2026/27. CropLife Brasil, 2024.
- Bomfim, C. A., et al. Brief history of biofertilizers in Brazil: from conventional approaches to new biotechnological solutions. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2021.
- Bonny, S. Genetically Modified Herbicide-Tolerant Crops, Weeds, and Herbicides: Overview and Impact. *Environmental Management*, v. 57, n. 1, p. 31-48, 2016.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Programa de Análise de Resíduos em Alimentos: relatório 2018-2019-2022. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos/arquivos/relatorio-2018-2019-2022>. Acesso em: 29 out. 2024.
- BRASIL. Lei nº 14.785, de 5 de agosto de 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14785.htm. Acesso em: 10 out. 2024.
- BRASIL. Resolução RE nº 2.080, de 31 de julho de 2019. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-re-n-2080-de-31-de-julho-de-2019-208203097>. Acesso em: 10 out. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de procedimentos

para registro de agrotóxicos. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/arquivos/manual-de-procedimentos-para-registro-de-agrotoxicos.pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.

Brookes, G.; Barfoot, P. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2020. PG Economics Ltda., 2022.

Bruetschy, C. The EU regulatory framework on genetically modified organisms (GMOs). *Transgenic Research*, v. 28, Suppl. 2, p. 169-174, 2019.

Buainain, A. M.; Souza, R. F. Propriedade intelectual, inovação e desenvolvimento: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: ABPI, 2018.

Buainain, A. M.; Vieira, A. C. P.; Souza, R. F. Propriedade intelectual, royalties e inovação na agricultura: controvérsias sobre o papel da PI na agricultura. Rio de Janeiro: Ideia D; INCT-PPED, 2023.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). Impactos econômicos das pragas e doenças nas culturas de soja, milho e algodão no Brasil – Parte 1. Piracicaba: CEPEA, ESALQ/USP, 2019.

Chaddad, F. Economia e Organização da Agricultura Brasileira, Elsevier, 2017.

Chio, Eddie H.; Li, Qing X. Pesticide research and development: General discussion and Spinosad case. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, n. 18, p. 9581-9589, 2010.

CLIMATE-SMART AGRICULTURE SOURCEBOOK. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. Disponível em: <https://www.fao.org/4/i3325e/i3325e.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n.1, primeiro levantamento, outubro 2024.

Cooper, J.; Dobson, H. The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop Protection*, v. 26, n. 9, p. 1337-1348, 2007.

EMBRAPA. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 30 out. 2024.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Pest and Pesticide Management. Disponível em: <https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/about/understanding-the-context/en/>. Acesso em: 09 out. 2024.

FAO. FAOSTAT: Food and agriculture data. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. 2024. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 25 out. 2024.

FGV – Centro de Estudos do Agronegócio. Diretrizes para um plano setorial bioinsumos: Ações para o avanço do mercado de bioinsumos até 2030. Disponível em: <https://www.croplifebrasil.org/fbb>. Acesso em: 30 out. 2024.

- Faria, D. F.; Viana, M. P. et al. Evaluation of cytotoxic and antimicrobial effects of two Bt Cry proteins on a GMO safety perspective. *Biomed Research International*, 2014. 810490.
- Fontes, E. M. G. e Valadares-Inglis, M. C. Controle biológico de pragas da agricultura. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020.
- Galindo, F. S. et al. o-Inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* sp. enhances nitrogen uptake and yield in field-grown cowpea and did not change N-fertilizer recovery. *Plants*, 2022.
- Galvão, A.; Wedekin, I. 2023. Biotecnologia agrícola no Brasil: Oportunidades e desafios da inovação nos próximos dez anos. 1. ed. Lumen Juris, 2023.
- Gressel, J. Perspective: present pesticide discovery paradigms promote the evolution of resistance – learn from nature and prioritize multi-target site inhibitor design. *Pest Management Science*, v. 76, n. 2, p. 427-435, 2020.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Avaliação ambiental de agrotóxicos. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/avaliacao-ambiental>. Acesso em: 10 out. 2024.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa de Inovação. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/ciencia-tecnologia-e-inovacao/9141-pesquisa-de-inovacao.html?=&t=downloads>. Acesso em: 24 out. 2024.
- ISAAA. 20 Years of GM Adoption in Brazil Increased Farmers' Profits, Boosted Economy, and Preserved the Environment. Disponível em: www.isaaa.org. Acesso em: 30 out. 2024.
- Jeschke, P. Progress of modern agricultural chemistry and future prospects. *Pest Management Science*, v. 72, n. 3, p. 433-455, 2016.
- LACLIMA. Bioinsumos são fundamentais para uma agricultura de baixa emissão de gases de efeito estufa e para a segurança alimentar e nutricional no Brasil. Disponível em: <https://laclima.org/paperseries/bioinsumos-sao-fundamentais-para-uma-agricultura-de-baixa-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-e-para-a-seguranca-alimentar-e-nutricional-no-brasil/>. Acesso em: 29 out. 2024.
- Li, Chengdao. Breeding crops by design for future agriculture. *J Zhejiang Univ-Sci B (Biomed & Biotechnol)*, v. 21, n. 6, p. 423-425, 2020.
- Li, Xiangyang; Yang, Xueqing; Zheng, Xiaodong; Bai, Miao; Hu, Deyu. Review on structures of pesticide targets. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, n. 21, p. 1-23, 2020.
- Lima, D.; Silva Filho, P. M.; Oliveira, A. B. Histórico das cultivares de soja convencional no Brasil. Resumos da XXXIII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil – Londrina, PR, agosto de 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88689/1/Historico-das-cultivares-de-soja-convencional-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

- Massruhá, S. M. F. S.; Leite, M. A. de A.; Oliveira, S. R. de M.; Meira, C. A. A.; Luchiari Junior, A.; Bolfe, E. L. (Ed.). Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Cap. 16, p. 380-406.
- Matthews, G. A. A history of pesticides. Boston, MA: CABI, 2018.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA. Bioinsumos. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos>. Acesso em: 10 out. 2024.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Plano ABC: Dez anos de sucesso e uma nova forma sustentável de produção agropecuária. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável, Irrigação e Cooperativismo. Brasília: MAPA/SDI. Disponível em: <http://192.168.3.118:8080/handle/1/2117>. Acesso em: 25 out. 2024.
- Niraula, P. M.; Fondong, V. N. Development and adoption of genetically engineered plants for virus resistance: Advances, opportunities and challenges. *Plants* (Basel), v. 10, n. 11, p. 2339, 2021.
- OCDE. Manual de Oslo: Proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. 2. ed. Paris: OCDE, 1997. Tradução FINEP, 2004.
- Oerke, E. C. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, n. 144, p. 31–43, 2006.
- Omoto, C.; Bernardi, O.; Salmeron, E. et al. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science*, v. 72, n. 9, p. 1727-1736, 2016.
- Parra, J. R. P. Biological Control in Brazil. *Scientia Agricola*, 2014.
- Peres, A. J. A.; Tomquelski, G. V. et al. Ocorrência de pragas em algodoeiro geneticamente modificado (Bt) e convencional. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, p. 810-813, 2012.
- Phillips McDougall. Evolution of the Crop Protection Industry since 1960. Disponível em: <https://croplife.org/wp-content/uploads/2018/11/Phillips-McDougall-Evolution-of-the-Crop-Protection-Industry-since-1960-FINAL.pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.
- Phillips, M. W. A. Agrochemical industry development, trends in R&D and the impact of regulation. *Pesticide Management Science*, v. 73, n. 3, p. 563-570, 2017.
- Pillon, C. N. Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2017, Pelotas. Anais. Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2017. p. 16-23.
- Ramalho, M. A. P.; Marques, T. L. e Roxane, C.L. Plant breeding in Brazil: Retrospective of the past 50 years. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 21(S): e383021S3, 2021.
- Ray, D. K.; Mueller, N. D.; West, P. C.; Foley, J. A. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS One*, v. 8, n. 6, 2013.
- REDE ILPF. Disponível em: <https://redeilpf.org.br/ilpf-em-numeros/>. Acesso em: 24 out. 2024.

- Reeves, W. R.; McGuire, M. K.; Stokes, M.; Vicini, J. L. Assessing the safety of pesticides in food: How current regulations protect human health. *Advances in Nutrition*, p. 80-88, 2019.
- Russel, P. E. Centenary review: A century of fungicide evolution. *Journal of Agricultural Science*, v. 143, p. 11-25, 2005.
- Santos, F. L., et al. Reduction in nitrogen fertilization in *Triticum* sp. inoculated and coinoculated. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2020.
- Shah, A., et al. A Sustainable Approach to Increasing Climate Change Resilience. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021.
- Savary, S.; Willocquet, L.; Pethybridge, S. J. et al. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, v. 3, p. 430–439, 2019.
- Silva, G. A.; Picanço, M. C. et al. 2018. Yield losses in transgenic Cry1Ab and non-Bt corn as assessed using a crop-life-table approach. *Journal of Economic Entomology*, 2018.
- Sorgatto, R. J.; Bernardi, O. et al. 2015. Survival and development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt cotton and implications for resistance management strategies in Brazil. *Environmental Entomology*, v. 44, n. 1, p. 186-192, 2015.
- Smyth, S. J.; Phillips, P. W. B.; Castle, D. An assessment of the linkages between GM crop biotechnology and climate change mitigation. *GM Crops & Food*, v. 15, n. 1, p. 150–169, 2024.
- Telles, T. S. et al. Economic value of biological nitrogen fixation in soybean crops in Brazil. *Environmental Technology & Innovation*, 2023.
- Tudi, M.; Daniel Ruan, H.; Wang, L.; Lyu, J.; Sadler, R.; Connell, D.; Chu, C.; Phung, D.T. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, n. 18, 2021.
- Tyczewska, A.; Twardowski, T.; Woźniak-Gientka, E. Agricultural biotechnology for sustainable food security. *Trends in Biotechnology*, v. 41, n. 3, p. 331-341, 2023.
- Umetsu, N.; Shirai, Y. Development of novel pesticides in the 21st century. *Journal of Pesticide Science*, v. 45, n. 2, p. 54-74, 2020.
- Wei, X.; Reynolds, M.; Xu, Y. Climate change challenges plant breeding. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 70, 2022.
- Woo, S. L. et al. Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature*, 2022.
- Yano, S. A. C.; Specht, A. et al. High susceptibility and low resistance allele frequency of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) field populations to Cry1Ac in Brazil. *Pest Management Science*, v. 72, n. 8, p. 1578-1584, 2016.



Autores

Adriana Brondani

Fundadora da Biofocus Hub. Bióloga, Mestre e Doutora em Ciências Biológicas e Professora de Biotecnologia no MBA do Pecege/USP.

Alexandre Gazola Neto

Professor e Consultor nas Áreas de Produção de Sementes e Produtividade de Lavouras. Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Produção e Tecnologia de Sementes.

Leila Vieira

Engenheira Agrônoma e Mestre em Economia Aplicada pela ESALQ/USP.

Paulo Camargo

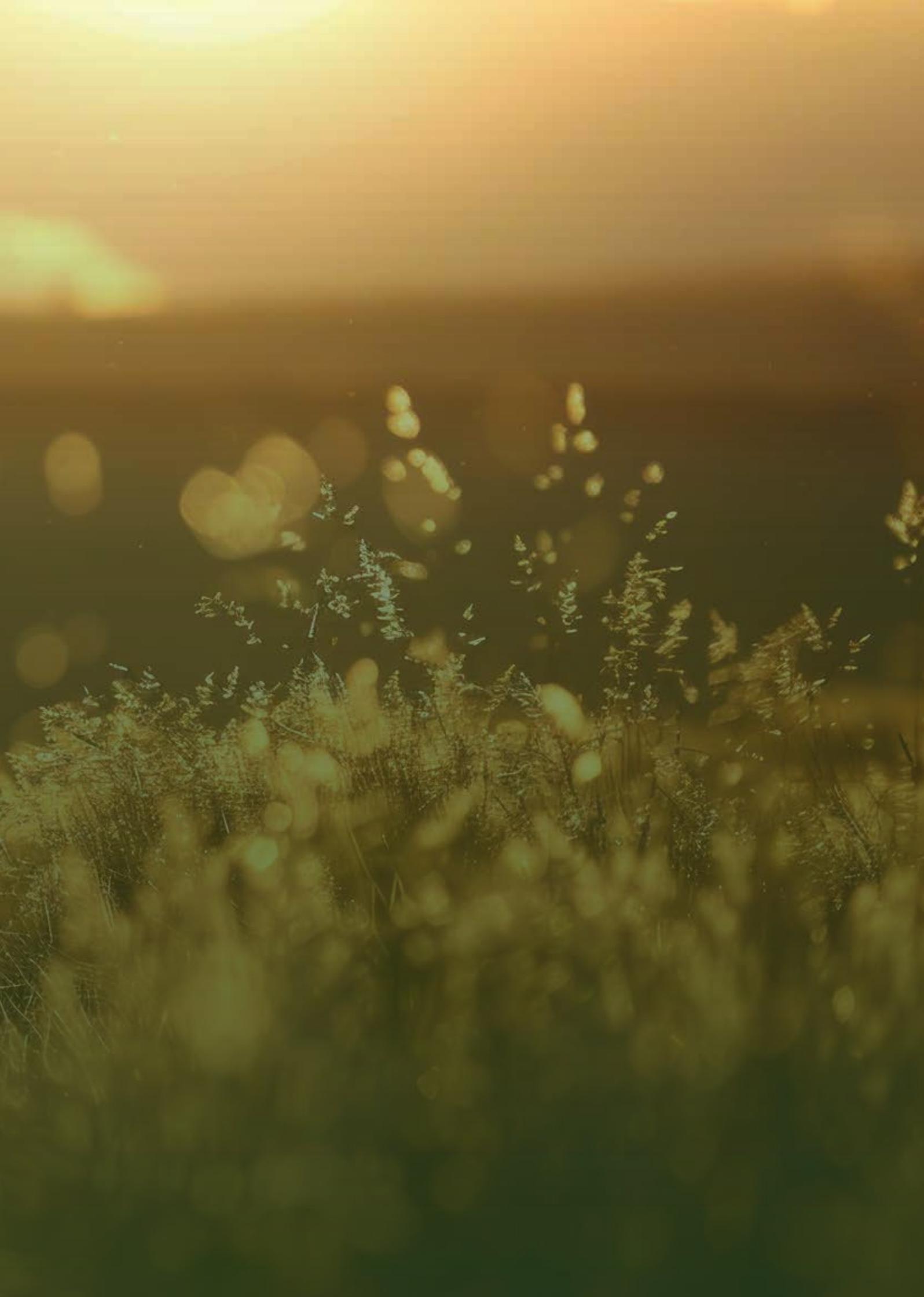
Sócio-diretor do Descascando a Ciência. Biólogo, Mestre em Microbiologia e Doutor em Biologia Funcional e Molecular.

Túlio Veríssimo

Engenheiro Agrônomo pela UFG, Mestre e Doutorando em Fitopatologia pela ESALQ/USP.

2024







O DESAFIO de alimentar uma população global crescente e fornecer energia limpa e renovável ao Brasil e ao mundo, enquanto se reduz as emissões de GEE, economiza recursos naturais e preserva a biodiversidade, é complexo. Contudo, muitas das soluções já estão ao nosso alcance. Entre elas, destacam-se a intensificação de sistemas agropecuários de baixo carbono, a restauração de áreas degradadas, o uso de culturas adaptadas às mudanças climáticas, a aplicação eficiente de insumos e a adoção da agricultura de precisão para monitoramento e decisões mais assertivas. Essas práticas não apenas aumentam a produtividade, mas também elevam a resiliência dos sistemas produtivos diante das incertezas climáticas e das crescentes demandas globais por sustentabilidade. Essa transformação, no entanto, só é possível com investimentos robustos em ciência, P&D de soluções tecnológicas. Inovações em genética e proteção de cultivos são pilares fundamentais para se enfrentar os desafios climáticos e garantir a competitividade do agronegócio brasileiro.

