

**AGRICULTURA NO CERRADO PIAUIENSE: USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS,
PRODUTIVIDADE E DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE**

**AGRICULTURE IN THE PIAUÍ CERRADO: USE OF CROP PROTECTION PRODUCTS,
PRODUCTIVITY, AND CHALLENGES FOR SUSTAINABILITY**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.065-005>

Marco Aurélio da Silva Coutinho

Mestre em Engenharia dos Materiais pelo Instituto Federal do Piauí (IFPI), Docente da Secretaria Estadual de Educação do Piauí (SEDUC-PI), Teresina-PI, Brasil
E-mail: drmarcoareliocoutinho@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6930641108982221>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6703-2854>

Jardes Figuerêdo do Rêgo

Doutor em Química pelo Instituto de Química da UNESP - Campus Araraquara
Professor EBT de Química Instituto Federal do Maranhão, Campus Buriticupu
E-mail: jardes.figuereado@ifma.edu.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0930923807805772>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8066-5077>

Stella Regina Arcanjo Medeiros

Engenharia Agrônoma, Departamento de Fitotecnia, UFPI
Docente na Universidade Federal do Piauí - Campus Ministro Petronio Portela
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2113434070256338>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0764-9406>

Wendell Marques Bezerra Braga

Mestrando pelo Mestrado Profissional do Ensino de Física (UFPI),
Docente da Secretaria Estadual de Educação do Piauí (SEDUC-PI), Coordenador de Currículo e
Avaliação de Ciências da Natureza (SEDUC-PI), Teresina - PI
E-mail: wendellbraga@seduc.pi.gov.br

Marli da Mata Dias

Especialista em Controle de Qualidade na Indústria Química;
Auxiliar de Laboratório do Departamento de Química da UFPI;
E-mail: marli.damatadias@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0198849089130536>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4457-4184>

José Nathannyel Chagas Barbosa

Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (CESVALE), Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI-PI), Supervisor Educacional da Secretaria Estadual do Piauí (SEDUC-PI), Teresina-PI, Brasil
E-mail: Nathannyel.21@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6930641108982221>

Francisco Cardoso Figueiredo

Doutor em Biotecnologia UFPI, Mestrado em Ciências dos Materiais
Professor titular da Universidade Federal do Piauí
E-mail: francisconfigueiredo@ufpi.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2938-6480>

Maria do Carmo Sousa e Silva

Especialista em Ciências Naturais, Matemática e Estatística
Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera
E-mail: carmem27.sousa@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4808081715454410>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9781-5269>

Rondenelly Brandão da Silva

Doutor em Biotecnologia - Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Bacharel em Química (UFPI)
Professor rede privada da UNIFAESF
E-mail: rondenelly@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6004-2478>

Walderice de Carvalho Rodrigues

Mestrado em Letras pela Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Docente o ensino médio do Governo do Estado do Maranhão, Língua Latina na UESPI
Coordenadora do Pré - Enem na Seduc-PI
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/0063750614955645>

Tetisuelma Leal Alves

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Bacabal - MA
Universidade Federal do Piauí (UFPI), Departamento de Química, Teresina-PI
E-mail: tetisuelma.alves@ifma.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0471-4428>

Leandro de Miranda Santos

Mestre em Ciência dos Matérias pela UFPI
Técnico de Laboratório do Departamento de Química da UFPI e Docente da Secretaria Municipal de
Educação de Timon (SEMED - Timon)
E-mail: leandro.ufpi@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6593402382301329>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4980-2306>

Fabio Adriano Santos e Silva

Doutor em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Piauí (IFGoiano), Docente da Secretaria
Estadual de Educação do Piauí (SEDUC-PI), Supervisor de Eixo AGRO, Secretaria Estadual do Piauí
(SEDUC-PI), Teresina-PI, Brasil
E-mail: fabioagro13@gmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0671246282153160>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6440-179X>

Marco Aurélio da Silva Coutinho | Jades Figuerêdo do Rêgo | Stella Regina Arcanjo Medeiros | Wendell Marques Bezerra
Braga | Marli da Mata Dias | José Nathanniel Chagas Barbosa | Francisco Cardoso Figueiredo | Maria do Carmo Sousa e Silva
| Rondenelly Brandão da Silva | Walderice de Carvalho Rodrigues | Tetisuelma Leal Alves | Leandro de Miranda Santos | Fabio
Adriano Santos e Silva | Santina Barbosa de Sousa | Jairton de Moura Alencar | Abraão Leal Alves

Santina Barbosa de Sousa

Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Docente da
Secretaria Estadual de Educação do Piauí (SEDUC-PI), Docente colaboradora do Centro de Educação
Aberta e Distância (CEAD-UFPI)

E-mail: sbarbosadesousa@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9411285748201048>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1982-9743>

Jairton de Moura Alencar

Licenciatura em Química UFPI

Bacharelado em Farmácia pela UNINASSAU - Teresina

Mestre em Química – Área Físico-Química UFPI

Técnico de Laboratório do Departamento de Química da UFPI

Docente da Secretaria de Educação do Estado do Piauí (SEDUC-PI)

E-mail: jairtonsimplicio@gmail.com

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/4590622705000794>

Abraão Leal Alves

Doutor em Biotecnologia pela Universidade Federal do Delta do Piauí (UFDPar)

Docente do Instituto Federal do Piauí, campus Cocal (IFPI), Parnaíba-PI, Brasil

E-mail: abraao.alves@ifpi.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2604064177699560>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8877-362X>

Resumo

A expansão e a modernização da agricultura no Cerrado piauiense têm contribuído significativamente para o aumento da produção de grãos, especialmente soja e milho, destacando municípios como Uruçuí no cenário agrícola regional. Nesse contexto, o uso de fertilizantes, tecnologias de produção e defensivos agrícolas desempenha importante papel na manutenção da produtividade e no controle de organismos capazes de causar perdas às lavouras. Este capítulo teve como objetivo discutir a importância dos defensivos agrícolas nos sistemas produtivos, bem como analisar os possíveis riscos à saúde humana e ao meio ambiente associados ao seu uso inadequado, considerando a realidade do Cerrado piauiense. O estudo foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e documental, de caráter exploratório e descritivo, utilizando artigos científicos, livros, documentos técnicos e informações provenientes de instituições oficiais. A análise da literatura evidenciou que os ganhos de produtividade agrícola resultam da integração entre melhoramento genético, mecanização, fertilidade do solo, manejo fitossanitário e inovação tecnológica. Entretanto, práticas inadequadas relacionadas ao armazenamento, preparo e aplicação de defensivos agrícolas podem favorecer a exposição ocupacional e a contaminação do solo, da água e de organismos não alvo. Estratégias como Manejo Integrado de Pragas, controle biológico, monitoramento das lavouras, assistência técnica e tecnologias de aplicação apresentam-se como alternativas importantes para racionalizar o uso desses produtos. Conclui-se que o desenvolvimento da agricultura no Cerrado

piauiense deve integrar produtividade, inovação tecnológica, segurança dos trabalhadores e conservação ambiental, contribuindo para sistemas agrícolas economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis.

Palavras-chave: Cerrado piauiense; Defensivos agrícolas; Manejo integrado de pragas; Produtividade agrícola; Sustentabilidade.

Abstract

The expansion and modernization of agriculture in the Cerrado region of Piauí have significantly contributed to increased grain production, particularly soybean and corn, highlighting municipalities such as Uruçuí in the regional agricultural landscape. In this context, the use of fertilizers, production technologies, and crop protection products plays an important role in maintaining productivity and controlling organisms capable of causing crop losses. This chapter aimed to discuss the importance of crop protection products in agricultural production systems and to analyze the potential risks to human health and the environment associated with their improper use, considering the context of the Cerrado region of Piauí. The study was conducted through exploratory and descriptive bibliographic and documentary research, based on scientific articles, books, technical documents, and information from official institutions. The literature analysis showed that gains in agricultural productivity result from the integration of genetic improvement, mechanization, soil fertility management, crop protection practices, and technological innovation. However, inadequate practices related to the storage, preparation, and application of crop protection products may increase occupational exposure and contribute to the contamination of soil, water, and non-target organisms. Strategies such as Integrated Pest Management, biological control, crop monitoring, technical assistance, and improved application technologies are important approaches to promoting the rational use of these products. It is concluded that agricultural development in the Cerrado region of Piauí should integrate productivity, technological innovation, worker safety, and environmental conservation, contributing to economically viable and environmentally sustainable agricultural systems.

Keywords: Agricultural productivity; Crop protection products; Integrated Pest Management; Piauí Cerrado; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, associado à ampliação da demanda por alimentos, fibras e matérias-primas, tem intensificado a necessidade de aumento da produção e da produtividade agrícola. Nas últimas décadas, parcela expressiva do crescimento da produção agropecuária brasileira esteve relacionada aos ganhos de produtividade, impulsionados pela modernização tecnológica, pelo melhoramento genético,

pela mecanização, pela correção e fertilização dos solos e pelo aperfeiçoamento das técnicas de manejo. Nesse contexto, fertilizantes e produtos fitossanitários passaram a ocupar posição relevante nos sistemas agrícolas modernos, contribuindo, quando empregados de maneira tecnicamente adequada, para a nutrição das plantas, o controle de organismos prejudiciais às culturas e a redução de perdas durante o processo produtivo (Gasques et al., 2018; EMBRAPA, 2018; FAO, 2022).

No Brasil, esse processo de modernização também contribuiu para a expansão da agricultura em áreas anteriormente consideradas de menor aptidão para sistemas intensivos de produção, especialmente no Cerrado. A incorporação de tecnologias de correção da acidez dos solos, fertilização, mecanização, irrigação, melhoramento vegetal e desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições tropicais possibilitou profundas transformações na agricultura dessa região. Como consequência, o Cerrado passou a exercer papel estratégico na produção brasileira de grãos, especialmente soja e milho, ao mesmo tempo em que a expansão e a intensificação agrícola passaram a demandar maior atenção aos possíveis efeitos socioambientais associados aos diferentes modelos de produção (Bolfe et al., 2016; EMBRAPA, 2018).

No contexto dessa expansão encontra-se o Cerrado piauiense, que nas últimas décadas se consolidou como importante área da fronteira agrícola brasileira, integrando a região conhecida como MATOPIBA, formada predominantemente por áreas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. O crescimento da agricultura empresarial nessa região está relacionado à disponibilidade de áreas agricultáveis, às características edafoclimáticas, aos investimentos em infraestrutura produtiva e, sobretudo, à incorporação de tecnologias capazes de elevar a produtividade das lavouras. Nesse cenário, o município de Uruçuí, localizado no sul do Piauí, destaca-se pela participação na produção estadual de grãos, especialmente soja e milho, acompanhando as transformações verificadas no setor agropecuário piauiense (Miranda; Magalhães; Carvalho, 2014; Bolfe et al., 2016; IBGE, 2018).

A intensificação da atividade agrícola no Cerrado piauiense envolve a utilização de máquinas e implementos modernos, sementes geneticamente modificadas, fertilizantes, corretivos agrícolas e diferentes produtos destinados à proteção das culturas. Entre esses insumos encontram-se os agrotóxicos, utilizados para prevenir, controlar ou reduzir a ocorrência de organismos capazes de comprometer o desenvolvimento e a produtividade das lavouras. Herbicidas, inseticidas, fungicidas, acaricidas e outros produtos fitossanitários apresentam finalidades específicas dentro dos sistemas produtivos e, quando corretamente prescritos e utilizados, constituem ferramentas importantes para o manejo agrícola. Entretanto, sua utilização exige critérios técnicos, conhecimento das características dos princípios ativos, respeito às doses recomendadas, condições adequadas de aplicação e observância das normas de segurança e proteção ambiental (Brasil, 1989; EMBRAPA, 2021).

A incorporação de cultivares geneticamente modificadas também modificou algumas estratégias de manejo fitossanitário empregadas nas lavouras. Na cultura da soja, por exemplo, tecnologias como a Intacta RR2 PRO® foram desenvolvidas com características de tolerância ao herbicida glifosato e resistência a determinadas espécies de lagartas. A utilização dessas tecnologias pode contribuir para alterações no manejo de alguns insetos-praga, mas não significa a eliminação completa do uso de produtos fitossanitários. Diferentes organismos podem continuar demandando medidas específicas de controle, razão pela qual estratégias como o Manejo Integrado de Pragas (MIP), o monitoramento das lavouras e a adoção de áreas de refúgio são fundamentais para preservar a eficiência das tecnologias e reduzir a seleção de populações resistentes (EMBRAPA SOJA, 2015; Bueno et al., 2021).

Apesar da importância dos insumos químicos para determinados sistemas de produção, sua utilização inadequada constitui uma questão relevante para a saúde ocupacional e para a conservação ambiental. A atividade agrícola pode expor os trabalhadores a diferentes fatores de risco, incluindo máquinas, condições climáticas adversas, esforço físico e substâncias químicas. No caso dos agrotóxicos, a exposição pode ocorrer durante o transporte, armazenamento, preparo das caldas, aplicação e descarte de embalagens e resíduos. A ausência ou utilização inadequada de equipamentos de proteção, o desconhecimento das orientações técnicas e o descumprimento das normas de segurança podem ampliar o risco de exposição ocupacional e de intoxicações agudas ou crônicas (Carneiro et al., 2015; Lopes; Albuquerque, 2018; Daufenback et al., 2022).

Além dos possíveis efeitos sobre a saúde humana, o comportamento dos agrotóxicos no ambiente depende das propriedades físico-químicas dos princípios ativos, das características do solo, das condições climáticas, do relevo e da forma como os produtos são aplicados. Processos como deriva, escoamento superficial, lixiviação, volatilização e erosão podem favorecer o deslocamento dessas substâncias para além da área de aplicação, aumentando a possibilidade de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e de organismos não alvo. Dessa maneira, a avaliação dos impactos ambientais associados aos agrotóxicos não deve considerar apenas a quantidade aplicada, mas também a toxicidade, persistência, mobilidade ambiental, frequência de utilização e condições específicas de manejo (Spadotto et al., 2004; Carneiro et al., 2015; Lopes; Albuquerque, 2018).

A contaminação ambiental associada ao uso inadequado desses produtos também pode atingir organismos não alvo e interferir no equilíbrio dos ecossistemas. Resíduos de determinados princípios ativos podem alcançar ambientes aquáticos, áreas adjacentes às lavouras e diferentes componentes da cadeia alimentar. Por esse motivo, estudos sobre os efeitos dos agrotóxicos têm enfatizado a necessidade de considerar conjuntamente os aspectos produtivos, ambientais e de saúde pública, especialmente em regiões caracterizadas pela rápida expansão e intensificação da agricultura (Lopes; Albuquerque, 2018; Daufenback et al., 2022)).

Nesse sentido, é importante evitar uma abordagem simplificada que considere os produtos fitossanitários exclusivamente como responsáveis pelo aumento da produtividade agrícola ou, em sentido oposto, apenas como fontes de impactos ambientais. A análise científica requer considerar suas funções agronômicas e, simultaneamente, os riscos associados ao uso inadequado, excessivo ou realizado sem acompanhamento técnico. A adoção de Boas Práticas Agrícolas (BPA), Manejo Integrado de Pragas, controle biológico, tecnologias de aplicação mais eficientes, monitoramento das populações de organismos-praga e capacitação dos trabalhadores pode contribuir para reduzir a dependência do controle exclusivamente químico e minimizar os riscos ambientais e ocupacionais (EMBRAPA, 2021; FAO, 2022).

A percepção dos riscos também constitui elemento fundamental nesse processo. Parte dos trabalhadores rurais pode apresentar conhecimento insuficiente sobre toxicidade, formas de exposição, equipamentos de proteção individual, armazenamento, descarte de embalagens e procedimentos necessários em situações de intoxicação. Dessa forma, ações educativas e de extensão rural assumem importância não apenas para divulgar informações sobre os possíveis riscos dos agrotóxicos, mas também para promover o conhecimento sobre sua utilização correta, as alternativas de manejo disponíveis e as medidas necessárias para proteger trabalhadores, consumidores e recursos naturais (Carneiro et al., 2015; Lopes; Albuquerque, 2018).

Diante desse cenário, torna-se relevante ampliar a discussão sobre os produtos empregados na produção agrícola, abordando suas características, funções, benefícios agronômicos, limitações e potenciais riscos. A disseminação do conhecimento científico sobre fertilizantes, agrotóxicos e tecnologias agrícolas pode contribuir para que estudantes, produtores e trabalhadores rurais compreendam que a eficiência produtiva deve estar associada ao uso racional dos recursos naturais e à adoção de procedimentos capazes de reduzir impactos negativos sobre a saúde e o ambiente. Essa perspectiva é particularmente importante em áreas de expansão agrícola, como o Cerrado piauiense, onde o crescimento da produção ocorre simultaneamente à necessidade de conservação de um bioma caracterizado por elevada biodiversidade e importante função ecológica (Bolfé et al., 2016; Lopes; Albuquerque, 2018; Daufenback et al., 2022).

Nesse contexto, este capítulo tem como objetivo discutir a utilização de fertilizantes e, especialmente, de agrotóxicos nos sistemas de produção agrícola, tomando como referência a realidade da agricultura no município de Uruçuí e no Cerrado piauiense. Busca-se apresentar as principais funções desses produtos no manejo das lavouras, discutir sua contribuição para os sistemas produtivos e analisar os possíveis impactos decorrentes de práticas inadequadas de armazenamento, manuseio e aplicação. Pretende-se, ainda, enfatizar a importância da educação ambiental, da orientação técnica, do uso de equipamentos de proteção, do Manejo Integrado de Pragas e da adoção de práticas agrícolas sustentáveis

como estratégias para conciliar produtividade, segurança alimentar, saúde dos trabalhadores e conservação ambiental (EMBRAPA, 2021; FAO, 2022; Daufenback et al., 2022).

2 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica narrativa e pesquisa documental. A escolha desse procedimento metodológico fundamentou-se na necessidade de reunir, sistematizar e discutir conhecimentos científicos relacionados ao desenvolvimento da agricultura moderna, à expansão da produção de grãos no Cerrado brasileiro e piauiense, ao emprego de fertilizantes e agrotóxicos e aos possíveis efeitos desses insumos sobre a produtividade agrícola, a saúde humana e o meio ambiente. A pesquisa bibliográfica possibilita ao pesquisador estabelecer contato com conhecimentos anteriormente produzidos sobre determinado objeto, permitindo identificar diferentes abordagens, resultados e interpretações relevantes para a compreensão do fenômeno investigado (Gil, 2019; Marconi; Lakatos, 2021).

A revisão foi orientada pela seguinte questão norteadora: qual a importância dos insumos agrícolas, especialmente os defensivos, para os sistemas modernos de produção e quais os principais riscos ambientais e à saúde humana relacionados à utilização inadequada desses produtos, considerando o contexto da expansão agrícola no Cerrado piauiense? A definição dessa questão permitiu organizar a pesquisa de maneira a contemplar tanto os aspectos relacionados à produtividade e à proteção fitossanitária das culturas quanto as implicações ambientais, ocupacionais e sociais associadas ao uso desses produtos.

Para a construção do referencial teórico, foram realizadas buscas em bases e plataformas de literatura científica, incluindo SciELO, Portal de Periódicos da CAPES, Google Scholar e ScienceDirect. De maneira complementar, foram consultados documentos técnicos, relatórios, dados estatísticos e publicações oficiais disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). A utilização de fontes institucionais teve como finalidade complementar as evidências científicas com informações técnicas, regulatórias e estatísticas relacionadas à produção agrícola e ao uso de insumos no Brasil.

As buscas foram realizadas utilizando descritores em português e seus correspondentes em inglês, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR. Entre os principais termos empregados encontram-se: “agrotóxicos”, “pesticidas”, “agroquímicos”, “produtos fitossanitários”, “fertilizantes”, “produção agrícola”, “produtividade agrícola”, “soja”, “milho”, “Cerrado”, “Cerrado piauiense”, “Uruçuí”,

“MATOPIBA”, “impactos ambientais”, “contaminação ambiental”, “saúde humana”, “saúde do trabalhador rural”, “exposição ocupacional”, “manejo integrado de pragas”, “organismos geneticamente modificados” e “agricultura sustentável”. Na busca internacional foram empregados termos como *pesticides*, *agrochemicals*, *fertilizers*, *agricultural productivity*, *soybean*, *Cerrado*, *MATOPIBA*, *environmental impacts*, *human health*, *occupational exposure*, *integrated pest management* e *sustainable agriculture*.

Como estratégia de busca, os descritores foram combinados de acordo com os diferentes eixos da investigação. Foram utilizadas, entre outras, combinações equivalentes a: “pesticidas AND saúde humana”, “pesticidas AND impactos ambientais”, “agrotóxicos AND trabalhadores rurais”, “agrotóxicos AND Cerrado”, “soja AND MATOPIBA”, “produção agrícola AND Cerrado piauiense”, “pesticides AND occupational exposure”, “pesticides AND environmental contamination”, “soybean AND Cerrado AND Brazil” e “integrated pest management AND soybean”. Essa estratégia buscou ampliar a recuperação de trabalhos relacionados aos diferentes componentes abordados no capítulo.

Foram priorizadas publicações referentes ao período de 2015 a 2026, de modo a incorporar evidências científicas e dados técnicos mais recentes. Entretanto, trabalhos publicados anteriormente a esse intervalo foram mantidos quando considerados fundamentais para a contextualização histórica, conceitual ou metodológica do tema, especialmente estudos relacionados à expansão agrícola do Cerrado, à delimitação do MATOPIBA e aos mecanismos de transporte e comportamento ambiental dos agrotóxicos. Essa estratégia permite combinar literatura contemporânea com trabalhos de referência indispensáveis à compreensão da evolução da agricultura brasileira.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos científicos publicados em periódicos, livros e capítulos de livros acadêmicos, revisões de literatura, documentos técnicos, legislação, relatórios institucionais e bases estatísticas que apresentassem relação direta com pelo menos um dos eixos temáticos definidos para o estudo. Foram priorizados documentos disponíveis integralmente, publicados em português, inglês ou espanhol, provenientes de periódicos científicos ou instituições reconhecidas e que apresentassem informações relacionadas ao contexto brasileiro ou aplicáveis às condições agrícolas estudadas.

Foram excluídos trabalhos sem relação direta com os objetivos do capítulo, publicações duplicadas, documentos sem identificação de autoria ou procedência, materiais de caráter exclusivamente opinativo, textos sem fundamentação técnico-científica e informações provenientes de páginas eletrônicas sem vinculação acadêmica ou institucional. Notícias e reportagens foram utilizadas, quando necessárias, apenas para contextualização histórica ou regional, não constituindo a principal fonte de evidências para as conclusões apresentadas.

Após a identificação das publicações, realizou-se inicialmente a leitura dos títulos e resumos para verificar a compatibilidade dos estudos com a questão norteadora. Os trabalhos considerados potencialmente relevantes foram submetidos à leitura integral, sendo posteriormente organizados de acordo com sua contribuição para os objetivos do capítulo. Durante essa etapa, foram observados aspectos como autoria, ano de publicação, local do estudo, objetivo, tipo de pesquisa, principais resultados e conclusões, possibilitando comparar diferentes evidências encontradas na literatura.

Para facilitar a interpretação, as informações selecionadas foram agrupadas em seis eixos temáticos: (1) modernização, expansão e produtividade da agricultura brasileira; (2) expansão agrícola no Cerrado, MATOPIBA e Cerrado piauiense; (3) importância agrônômica dos fertilizantes e produtos fitossanitários; (4) utilização de agrotóxicos e possíveis impactos sobre a saúde humana e ocupacional; (5) comportamento ambiental, contaminação do solo, da água e efeitos sobre organismos não alvo; e (6) alternativas para o uso racional dos insumos agrícolas, com ênfase em Manejo Integrado de Pragas, controle biológico, tecnologias de aplicação, boas práticas agrícolas e sustentabilidade.

A análise das informações foi realizada de forma qualitativa, descritiva e interpretativa, buscando identificar convergências, divergências e lacunas entre os estudos selecionados. Especial atenção foi destinada à relação entre os benefícios agrônômicos associados ao manejo fitossanitário e os potenciais riscos decorrentes da utilização inadequada dos produtos. Dessa maneira, buscou-se evitar uma interpretação exclusivamente favorável ou desfavorável aos agrotóxicos, privilegiando uma análise fundamentada em evidências científicas e na compreensão de que os efeitos desses produtos dependem, entre outros fatores, de suas características toxicológicas e ambientais, das doses empregadas, da frequência e tecnologia de aplicação e das práticas de manejo adotadas.

Para a contextualização específica de Uruçuí e do Cerrado piauiense, foram priorizados dados provenientes do IBGE, Embrapa e demais fontes oficiais, particularmente informações referentes à produção de soja e milho, área plantada, produtividade e evolução da atividade agrícola. Para a discussão relacionada aos agrotóxicos, foram consideradas publicações científicas e informações técnicas provenientes de órgãos como Anvisa, Ibama, MAPA e Embrapa. Essa estratégia permitiu associar a literatura científica de caráter nacional e internacional às particularidades da produção agrícola regional.

Por fim, a síntese bibliográfica foi construída de maneira integrada, relacionando produtividade agrícola, proteção das culturas, utilização de agrotóxicos, saúde ocupacional, impactos ambientais e sustentabilidade. A metodologia adotada permitiu, portanto, estabelecer uma base teórico-científica para discutir a realidade da agricultura no Cerrado piauiense, especialmente no município de Uruçuí, reconhecendo a importância das tecnologias agrícolas para a produção e, simultaneamente, a necessidade de utilização racional dos insumos, adoção de boas práticas agrícolas e desenvolvimento de estratégias capazes de conciliar produtividade, saúde humana e conservação dos recursos naturais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura científica e dos documentos técnicos selecionados permitiu identificar diferentes dimensões relacionadas à modernização da agricultura brasileira e à utilização de insumos agrícolas. Os estudos consultados demonstram que o aumento da produção agrícola resulta de uma combinação de fatores, entre os quais se destacam o melhoramento genético, a mecanização, o desenvolvimento de cultivares adaptadas, a correção e fertilização dos solos, o controle fitossanitário e o aprimoramento das técnicas de manejo. Paralelamente aos benefícios proporcionados pela modernização agrícola, a literatura evidencia preocupações relacionadas aos impactos ambientais e aos riscos ocupacionais decorrentes do uso inadequado de determinados insumos, particularmente os agrotóxicos.

Para sistematizar os resultados da revisão, a discussão foi organizada em seis eixos: (1) modernização e produtividade da agricultura brasileira; (2) expansão agrícola no Cerrado, MATOPIBA e Cerrado piauiense; (3) importância dos fertilizantes e produtos fitossanitários; (4) agrotóxicos e saúde humana; (5) impactos ambientais associados aos agrotóxicos; e (6) uso racional, Manejo Integrado de Pragas e sustentabilidade agrícola.

3.1 MODERNIZAÇÃO E PRODUTIVIDADE DA AGRICULTURA BRASILEIRA

A literatura analisada demonstra que a agricultura brasileira passou por profundas transformações tecnológicas nas últimas décadas. A expansão da mecanização, a utilização de fertilizantes e corretivos, o melhoramento genético, o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições tropicais, a agricultura de precisão e o aperfeiçoamento do manejo de pragas e doenças contribuíram para elevar a produtividade das principais culturas agrícolas. Dessa maneira, o crescimento da produção não pode ser atribuído a um único insumo ou tecnologia, mas à integração de diferentes componentes dos sistemas produtivos (Gasques et al., 2018; EMBRAPA, 2018).

Os ganhos de produtividade são particularmente importantes porque permitem aumentar a produção sem que esse crescimento dependa exclusivamente da incorporação de novas áreas agrícolas. Entretanto, o aumento da eficiência produtiva não elimina os desafios socioambientais relacionados à agricultura intensiva. Pelo contrário, sistemas altamente tecnificados demandam planejamento adequado para que a intensificação produtiva seja acompanhada pelo uso eficiente dos recursos naturais, conservação do solo e da água e redução dos riscos relacionados aos insumos agrícolas.

A modernização tecnológica também modificou a forma de planejamento das propriedades rurais. Máquinas com maior precisão, sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento por satélite, drones, sementes geneticamente modificadas e ferramentas digitais possibilitam maior controle sobre diferentes etapas do processo produtivo. A agricultura contemporânea, portanto, apresenta uma tendência de utilização

crescente de informações e tecnologias para aumentar a eficiência das operações e reduzir desperdícios (FAO, 2022).

Essa transformação é relevante para a discussão sobre agrotóxicos porque o aumento da produtividade agrícola não deve ser interpretado como consequência exclusiva da intensificação do controle químico. A produtividade é resultado de um sistema complexo no qual genética, fertilidade do solo, condições climáticas, disponibilidade hídrica, manejo fitossanitário, tecnologia e conhecimento técnico interagem. Essa compreensão é importante para evitar a associação simplificada entre maior quantidade de insumos químicos e maior produtividade.

3.2 EXPANSÃO DA AGRICULTURA NO CERRADO, MATOPIBA E CERRADO PIAUIENSE

Um dos principais resultados identificados na literatura refere-se à transformação do Cerrado em uma região estratégica para a agricultura brasileira. Durante décadas, determinadas características químicas dos solos constituíram limitações importantes para a produção agrícola intensiva. O desenvolvimento de técnicas de correção da acidez, fertilização, melhoramento genético e manejo possibilitou a incorporação de extensas áreas do Cerrado aos sistemas produtivos, principalmente para o cultivo de grãos (EMBRAPA, 2018).

Nesse processo, destaca-se o MATOPIBA, região formada predominantemente por áreas do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A expansão das culturas de soja, milho e algodão transformou partes desse território em uma importante fronteira agrícola. Bolfe et al. (2016) destacam a rápida expansão agrícola observada no MATOPIBA e sua crescente participação na produção brasileira de grãos.

No Piauí, esse processo ocorreu especialmente na porção sul do estado. Municípios inseridos no Cerrado passaram a apresentar crescimento da área cultivada e maior participação na produção estadual de grãos. Uruçuí está inserido nesse contexto e apresenta importância para a produção de soja e milho, constituindo um exemplo representativo das transformações produtivas ocorridas no Cerrado piauiense.

A expansão agrícola da região está associada não apenas às condições naturais, mas também à incorporação de capital, infraestrutura, mecanização e tecnologias agrícolas. Assim, a consolidação de Uruçuí como área produtora deve ser interpretada dentro de um processo territorial mais amplo de transformação do Cerrado brasileiro (Miranda; Magalhães; Carvalho, 2014; Bolfe et al., 2016).

Por outro lado, a expansão da produção exige atenção aos impactos sobre os recursos naturais. O Cerrado possui elevada diversidade biológica e desempenha papel importante na manutenção dos recursos hídricos. Dessa maneira, o desenvolvimento econômico associado à agricultura deve ser acompanhado por planejamento territorial, cumprimento da legislação ambiental, conservação das áreas de vegetação nativa e adoção de práticas capazes de reduzir os impactos sobre o solo, a água e a biodiversidade.

Essa relação entre expansão econômica e conservação ambiental representa um dos principais desafios para regiões agrícolas como Uruçuí. A sustentabilidade da produção no longo prazo depende da capacidade de aumentar a eficiência produtiva sem comprometer os recursos naturais que sustentam a própria atividade agrícola.

3.3 FERTILIZANTES E PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Outro aspecto identificado na literatura refere-se à importância dos diferentes insumos para o desenvolvimento das culturas agrícolas. Nesse ponto, é necessário estabelecer uma distinção conceitual entre fertilizantes e agrotóxicos, uma vez que possuem funções agronômicas distintas.

Os fertilizantes são empregados principalmente para fornecer nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Nitrogênio, fósforo e potássio encontram-se entre os macronutrientes de maior importância para diversas culturas. Em solos do Cerrado, o manejo da fertilidade assume relevância particular em razão das características químicas originalmente apresentadas por muitos desses solos.

Os agrotóxicos ou produtos fitossanitários, por outro lado, são empregados no manejo de organismos capazes de causar prejuízos às culturas. Dependendo de sua finalidade, podem ser classificados em diferentes grupos, entre os quais se destacam herbicidas, inseticidas, fungicidas e acaricidas.

Tabela 1. Classificação por grupos e finalidade de defensivos agrícolas

Grupo	Finalidade predominante
Fertilizantes	Fornecimento de nutrientes às plantas
Corretivos	Correção de características químicas do solo
Herbicidas	Manejo de plantas daninhas
Inseticidas	Controle de determinados insetos-praga
Fungicidas	Manejo de doenças causadas por fungos
Acaricidas	Controle de ácaros
Agentes biológicos	Controle biológico de determinados organismos

Fonte: Próprio autor.

A distinção é importante porque expressões genéricas como “produtos químicos utilizados na agricultura” podem reunir substâncias com funções, características e riscos muito diferentes. Uma discussão científica adequada deve considerar individualmente a finalidade e as características dos produtos.

No caso dos produtos fitossanitários, sua utilização pode contribuir para evitar perdas causadas por pragas, doenças e plantas daninhas. Entretanto, o benefício agrônômico depende da utilização tecnicamente correta. A aplicação desnecessária, em doses inadequadas ou sem considerar o monitoramento da lavoura pode elevar custos de produção, aumentar a exposição de trabalhadores e favorecer impactos ambientais.

Portanto, o princípio fundamental não deve ser simplesmente utilizar ou deixar de utilizar determinada tecnologia, mas empregá-la de maneira racional, tecnicamente justificada e integrada a outras estratégias de manejo.

3.4 AGROTÓXICOS, EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E SAÚDE HUMANA

A relação entre agrotóxicos e saúde humana aparece de maneira recorrente nos estudos analisados. A literatura demonstra que trabalhadores envolvidos diretamente no preparo e aplicação desses produtos constituem um grupo que demanda especial atenção, uma vez que a exposição ocupacional pode ocorrer por diferentes vias, incluindo contato dérmico, inalação e ingestão acidental (Lopes; Albuquerque, 2018; Daufenback et al., 2022).

O risco não depende apenas da existência do produto químico, mas de fatores como toxicidade, dose, duração e frequência da exposição, forma de aplicação, condições meteorológicas, utilização dos equipamentos de proteção e cumprimento das recomendações técnicas.

Entre as etapas que demandam maior atenção encontram-se o transporte, armazenamento, abertura das embalagens, preparo da calda, abastecimento dos equipamentos, aplicação, higienização dos pulverizadores e destinação das embalagens vazias. Dessa maneira, a segurança precisa abranger todo o ciclo de utilização do produto e não apenas o momento da pulverização.

A literatura também demonstra a necessidade de diferenciar intoxicação aguda e exposição crônica. A intoxicação aguda está relacionada à exposição em período relativamente curto e pode produzir manifestações clínicas em intervalo próximo ao contato. Já os possíveis efeitos crônicos estão relacionados a exposições repetidas ou prolongadas e exigem maior cautela na determinação de relações causais, considerando o princípio ativo, intensidade da exposição e demais fatores individuais e ambientais (Carneiro et al., 2015; Lopes; Albuquerque, 2018).

Nesse contexto, treinamento e assistência técnica assumem papel fundamental. O trabalhador deve compreender não apenas a necessidade de equipamentos de proteção individual, mas também informações presentes no rótulo e na bula, procedimentos de preparo e aplicação, intervalos de segurança, armazenamento e medidas a serem tomadas em situações de exposição acidental.

Portanto, a prevenção das intoxicações depende de uma combinação de informação, treinamento, assistência técnica, fiscalização, equipamentos adequados e adoção das boas práticas agrícolas.

3.5 IMPACTOS DOS AGROTÓXICOS SOBRE O AMBIENTE

Os trabalhos analisados também demonstram que o destino ambiental dos agrotóxicos constitui uma questão complexa. Após a aplicação, parte do produto pode atingir o organismo-alvo, enquanto outras frações podem permanecer sobre as plantas, alcançar o solo ou ser transportadas para outros compartimentos ambientais.

A mobilidade dessas substâncias depende das características físico-químicas dos princípios ativos e das condições ambientais. Processos como deriva, volatilização, escoamento superficial e lixiviação podem contribuir para o transporte dos compostos para áreas diferentes daquela em que foram originalmente aplicados (Spadotto et al., 2004).

A deriva ocorre quando gotas ou partículas são transportadas para fora da área desejada durante a aplicação. Esse processo pode ser influenciado pela velocidade do vento, tamanho das gotas, altura da barra de pulverização e condições atmosféricas. Tecnologias adequadas de aplicação e monitoramento das condições meteorológicas são, portanto, essenciais para minimizar esse fenômeno.

O escoamento superficial pode transportar resíduos presentes no solo em direção a cursos d'água, especialmente durante eventos de chuva. A lixiviação, por sua vez, envolve o deslocamento das substâncias através do perfil do solo, podendo, dependendo das características do composto e do ambiente, representar risco para águas subterrâneas.

Esses mecanismos demonstram que o impacto ambiental não pode ser avaliado exclusivamente pela quantidade de produto utilizada. A toxicidade para organismos não alvo, persistência, capacidade de adsorção ao solo, solubilidade, mobilidade e velocidade de degradação também precisam ser consideradas.

No contexto do Cerrado piauiense, essa discussão assume relevância pela necessidade de compatibilizar a expansão da agricultura com a proteção do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade. A manutenção de vegetação em áreas legalmente protegidas, o manejo conservacionista do solo, a proteção das margens dos cursos d'água e a aplicação tecnicamente adequada dos produtos constituem medidas importantes para minimizar impactos.

3.6 SOJA GENETICAMENTE MODIFICADA E MANEJO FITOSSANITÁRIO

A introdução de cultivares geneticamente modificadas representou outra transformação importante nos sistemas agrícolas brasileiros. Na cultura da soja, algumas tecnologias foram desenvolvidas para conferir tolerância a determinados herbicidas ou resistência a grupos específicos de insetos.

No caso das cultivares que utilizam tecnologia Bt, proteínas derivadas de *Bacillus thuringiensis* conferem resistência a determinados insetos-praga. Essa característica pode modificar a necessidade de aplicação de inseticidas destinados aos organismos controlados pela tecnologia. Entretanto, isso não significa que a lavoura esteja protegida contra todos os insetos ou outros problemas fitossanitários.

Da mesma forma, variedades tolerantes a herbicidas permitem a utilização de determinados princípios ativos no manejo das plantas daninhas, mas essa tecnologia deve ser acompanhada de estratégias destinadas a evitar a seleção de plantas resistentes.

A adoção dessas tecnologias demonstra que a agricultura moderna se tornou cada vez mais dependente de estratégias integradas de manejo. A utilização isolada e repetitiva de uma única ferramenta de controle pode favorecer a seleção de organismos resistentes e comprometer sua eficiência ao longo do tempo.

Por esse motivo, tecnologias geneticamente modificadas devem ser utilizadas dentro de programas mais amplos de manejo, envolvendo monitoramento das populações de pragas, rotação de mecanismos de ação e, quando aplicável, manutenção de áreas de refúgio (EMBRAPA SOJA, 2015; Bueno et al., 2021).

3.7 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DO USO DESNECESSÁRIO DE AGROTÓXICOS

Entre as alternativas identificadas na literatura, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) apresenta especial relevância. Diferentemente de estratégias baseadas na aplicação calendarizada de produtos, o MIP utiliza o monitoramento da lavoura para subsidiar a tomada de decisão.

O princípio central consiste em reconhecer que a presença de determinado organismo na lavoura não significa necessariamente que seja necessária uma intervenção química imediata. A decisão deve considerar a espécie, densidade populacional, estágio da cultura, presença de inimigos naturais e possibilidade de prejuízo econômico.

Dessa forma, o MIP pode integrar diferentes estratégias:

- monitoramento sistemático das lavouras;
- controle biológico;
- utilização de cultivares resistentes;
- rotação de culturas;
- manejo cultural;
- conservação de inimigos naturais;
- controle químico quando tecnicamente necessário;
- rotação dos mecanismos de ação;
- utilização correta das doses e tecnologias de aplicação.

Essa abordagem contribui para reduzir aplicações desnecessárias e preservar a eficiência dos produtos disponíveis. Além dos benefícios ambientais, pode representar vantagem econômica ao produtor pela redução de intervenções sem justificativa técnica.

No caso de regiões de elevada produção de soja e milho, como o Cerrado piauiense, a disseminação das práticas de MIP pode constituir importante estratégia para compatibilizar produtividade e sustentabilidade (Bueno et al., 2021).

3.8 AGRICULTURA SUSTENTÁVEL: ENTRE PRODUTIVIDADE E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL

A análise conjunta dos trabalhos demonstra que produtividade e sustentabilidade não devem ser interpretadas necessariamente como objetivos antagônicos. O desafio consiste em desenvolver sistemas capazes de produzir alimentos e matérias-primas utilizando os recursos de maneira eficiente e reduzindo os impactos negativos.

Nesse sentido, a agricultura sustentável não depende de uma única tecnologia. Sua construção envolve conservação do solo, uso eficiente da água, manejo adequado da fertilidade, rotação de culturas, plantio direto, controle biológico, MIP, agricultura de precisão e capacitação dos trabalhadores.

Tecnologias digitais também apresentam potencial para aumentar a eficiência do uso de insumos. Sistemas de aplicação localizada, sensores, imagens de satélite, drones e equipamentos de agricultura de precisão podem auxiliar na identificação da variabilidade espacial das lavouras e contribuir para intervenções mais direcionadas (FAO, 2022).

O crescimento econômico associado à produção de grãos precisa ser acompanhado pela conservação dos recursos naturais, uma vez que solo, água e biodiversidade constituem elementos fundamentais para a continuidade da própria atividade agrícola.

AGRICULTURA NO CERRADO PIAUIENSE: USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS, PRODUTIVIDADE E DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE

Tabela 2. Principais aspectos da produção agrícola e seus desafios socioambientais.

Eixo analisado	Principais resultados identificados	Implicações
Modernização agrícola	Tecnologia, genética, mecanização e manejo contribuíram para ganhos produtivos	Produtividade resulta da integração de múltiplos fatores
Cerrado e MATOPIBA	Expansão expressiva da produção de grãos	Necessidade de conciliar expansão e conservação
Uruçuí e Cerrado piauiense	Inserção em importante área de produção agrícola	Relevância econômica e necessidade de planejamento ambiental
Fertilizantes	Fundamentais para nutrição e manejo da fertilidade	Uso deve ser baseado em análise e recomendação técnica
Agrotóxicos	Importantes no controle fitossanitário, mas associados a riscos quando inadequadamente utilizados	Necessidade de uso racional e assistência técnica
Saúde ocupacional	Trabalhadores podem apresentar exposição durante diferentes etapas do manejo	Capacitação, proteção e acompanhamento são essenciais
Ambiente	Possibilidade de deriva, lixiviação e escoamento superficial	Tecnologias adequadas de aplicação reduzem riscos
Transgênicos	Podem auxiliar no manejo de determinados organismos	Não eliminam todas as intervenções fitossanitárias
MIP	Integra diferentes métodos de controle	Pode reduzir aplicações desnecessárias
Agricultura sustentável	Integra produtividade, eficiência e conservação	Estratégia fundamental para sustentabilidade regional

Fonte: Próprio Autor.

Assim, a sustentabilidade deve ser compreendida não somente como uma exigência ambiental, mas como um componente da própria viabilidade econômica da agricultura no longo prazo.

3.9 SÍNTESE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS DA REVISÃO

A análise bibliográfica possibilitou sistematizar os principais achados encontrados na literatura e estabelecer suas implicações para a realidade agrícola analisada.

De maneira geral, os resultados da revisão demonstram que a discussão sobre o emprego de defensivos agrícolas não deve ser construída a partir de uma visão dicotômica entre sua importância para a agricultura e seus potenciais impactos. Os produtos fitossanitários constituem uma das ferramentas disponíveis para o manejo agrícola, mas sua utilização deve estar fundamentada em critérios técnicos e integrada a estratégias preventivas e alternativas de controle.

Ao mesmo tempo, as evidências disponíveis indicam que práticas inadequadas de transporte, armazenamento, preparo e aplicação podem aumentar os riscos de exposição ocupacional e de dispersão dos produtos para diferentes compartimentos ambientais. Portanto, a capacitação dos trabalhadores, assistência técnica, fiscalização, desenvolvimento de tecnologias de aplicação e ampliação das estratégias de Manejo Integrado de Pragas constituem elementos fundamentais para a redução desses riscos (Lopes; Albuquerque, 2018; Vanessa Daufenback, 2022).

No contexto de Uruçuí e do Cerrado piauiense, essa discussão assume especial importância diante da expansão da produção de soja e milho. A manutenção da competitividade agrícola da região no longo prazo dependerá não apenas do aumento da produtividade, mas da capacidade de combinar inovação tecnológica, eficiência no uso de insumos, segurança dos trabalhadores e conservação dos recursos naturais. Nesse sentido, a sustentabilidade da agricultura regional deve estar fundamentada no princípio de produzir de forma eficiente, utilizando cada intervenção agrícola somente quando tecnicamente necessária e nas condições que proporcionem o menor risco possível à saúde humana e ao ambiente.

4 CONCLUSÃO

A análise da literatura demonstrou que a modernização da agricultura brasileira, impulsionada pelo melhoramento genético, mecanização, fertilização dos solos e aperfeiçoamento do manejo fitossanitário, contribuiu significativamente para o aumento da produtividade. No Cerrado piauiense, especialmente em regiões produtoras como Uruçuí, essas transformações favoreceram a expansão da produção de grãos, mas também ampliaram a necessidade de conciliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

Os produtos fitossanitários desempenham importante função no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, contribuindo para reduzir perdas nas lavouras. Entretanto, seu uso inadequado pode provocar riscos à saúde dos trabalhadores e impactos sobre o solo, a água, a biodiversidade e organismos não alvo. Assim, sua utilização deve ser baseada em critérios técnicos, respeitando doses, condições de aplicação, medidas de segurança e recomendações agronômicas.

Nesse contexto, o Manejo Integrado de Pragas (MIP), o controle biológico, o monitoramento das lavouras, as boas práticas agrícolas e as tecnologias de aplicação constituem estratégias importantes para reduzir intervenções químicas desnecessárias. Conclui-se que o desenvolvimento sustentável da agricultura em Uruçuí e no Cerrado piauiense depende da integração entre produtividade, inovação tecnológica, capacitação dos trabalhadores e conservação dos recursos naturais. A disseminação do conhecimento científico e a assistência técnica são, portanto, fundamentais para promover uma agricultura economicamente viável, socialmente responsável e ambientalmente sustentável.

REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BOLFE, Édson Luis et al. Matopiba em crescimento agrícola: aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 25, n. 4, p. 38-62, out./nov./dez. 2016.

BRASIL. **Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989**, Brasília, DF: Presidência da República, 1989.

BUENO, Adeney de Freitas et al. Manejo integrado de pragas da soja. In: SEIXAS, Claudine Dinali Santos et al. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2021.

CARNEIRO, Fernando Ferreira et al. (org.). **Dossiê ABRASCO**: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015.

DAUFENBACK, Vanessa; ADELL, Adriana; MUSSOI, Milena Regina; FURTADO, Adriella Camila Fedyna; SANTOS, Shirleyde Alves dos; VEIGA, Denise Piccirillo Barbosa da. Agrotóxicos, desfechos em saúde e agroecologia no Brasil: uma revisão de escopo. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 46, n. esp. 2, p. 482–500, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042022E232>.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMBRAPA SOJA. **Cultivar de soja BRS 7270IPRO**. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of food and agriculture 2022**: leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. Rome: FAO, 2022.

GASQUES, José Garcia et al. Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 27, n. 3, 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

LOPES, Carla Vanessa Alves; ALBUQUERQUE, Guilherme Souza Cavalcanti de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518-534, abr./jun. 2018.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 15. ed. São Paulo: Hucitec, 2021.

MIRANDA, Evaristo Eduardo de; MAGALHÃES, Lucíola Alves; CARVALHO, Carlos Alberto de. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014.

SPADOTTO, Cláudio Aparecido et al. **Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos**: princípios e recomendações. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

VANESSA DAUFENBACK, Adriana Adell, Milena Regina Mussoi, Adriella Camila Fedyna Furtado, Shirleyde Alves dos Santos e Denise Piccirillo Barbosa da Veiga, publicado em **Saúde em Debate**, v. 46, número especial 2, p. 482–500, 2022, DOI 10.1590/0103-11042022E232.