

A EXPANSÃO DA SOJA (*Glycine max*) E SEUS EFEITOS NOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DO TOCANTINS

Carlessandra Rodrigues¹, Aline Maria Rosa Barbosa²

RESUMO:

A soja é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, e sua expansão no estado do Tocantins tem gerado impactos significativos nos serviços ecossistêmicos locais. Essa expansão tem impulsionado o crescimento econômico da região e contribuído para a inserção do Tocantins no cenário agrícola nacional e internacional. No entanto, esse modelo de desenvolvimento também traz desafios ambientais, que podem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas e a oferta dos serviços essenciais para as comunidades locais. O estudo teve como objetivo analisar os impactos da produção de soja no estado do Tocantins sobre a oferta local de serviços ecossistêmicos. Mais especificamente, buscou-se identificar os serviços ecossistêmicos potenciais associados ao uso e à ocupação do solo da área de estudo; elencar a importância econômica, ambiental e social dos serviços obtidos dos ecossistemas; e, por fim, avaliar de que forma os impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos, provenientes do cultivo de soja afetam o potencial de oferta dos serviços ecossistêmicos identificados. A pesquisa utilizou uma abordagem bibliográfica e análise de dados secundários, incluindo informações de plataformas de monitoramento e mapeamento, que possibilitaram uma compreensão detalhada dos impactos. Os resultados indicaram que a expansão da soja, embora traga benefícios econômicos, também resulta em desafios ambientais que não podem ser ignorados. A degradação do solo e a redução da cobertura vegetal nativa comprometem a capacidade dos ecossistemas de fornecer serviços essenciais, como a regulação do clima e a proteção da água. O estudo serve como um alerta para a imprescindibilidade de um planejamento integrado, que considere as dimensões econômicas, sociais e ambientais na condução da produção agrícola. A busca por um desenvolvimento sustentável deve ser prioridade, garantindo que as gerações futuras possam usufruir dos benefícios dos ecossistemas intactos e produtivos.

Palavras-chave: impactos ambientais; ecossistemas; conservação; biodiversidade.

SOYBEAN (*Glycine max*) EXPANSION AND ITS EFFECTS ON ECOSYSTEM SERVICES IN TOCANTINS

ABSTRACT:

Soybean is one of Brazil's main agricultural crops, and its expansion in the state of Tocantins has generated significant impacts on local ecosystem services. This expansion has driven the region's economic growth and contributed to Tocantins's integration into the national and international agricultural landscape. However, this development model also poses environmental challenges that can compromise ecosystem sustainability and the provision of essential services to local communities. This study aimed to analyze the impacts of soybean production in the state of Tocantins on the local supply of ecosystem services. More specifically, the study sought to identify the potential ecosystem services associated with land use and occupation in the study area; to identify the economic, environmental, and social importance of the services obtained from these ecosystems; and, finally, to assess how the environmental impacts, both positive and negative, resulting from soybean cultivation affect the potential supply of the identified ecosystem services. The research used a bibliographic approach and secondary data analysis, including information from monitoring and mapping platforms, which enabled a detailed understanding of the impacts. The results indicated that the expansion of soybean cultivation, while bringing economic benefits, also poses environmental challenges that cannot be

¹Bacharela em Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual do Tocantins - Unitins, Palmas -TO, rodriguesccr00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-9345-7493>. ²Professora na Universidade Estadual do Tocantins - Unitins, Palmas - TO, aline.mr@unitins.br, <https://orcid.org/0009-0003-9646-6007>.

ignored. Soil degradation and the reduction of native vegetation cover compromise the ability of ecosystems to provide essential services, such as climate regulation and water protection. The study serves as a warning of the importance of integrated planning that considers the economic, social, and environmental dimensions in managing agricultural production. The pursuit of sustainable development must be a priority, ensuring that future generations can enjoy the benefits of intact and productive ecosystems.

Keywords: environmental impacts; ecosystems; conservation; biodiversity.

INTRODUÇÃO

A expansão da produção de soja no Tocantins tem desempenhado um papel importante no crescimento econômico do estado. Contudo, essa atividade tem gerado significativos impactos ambientais que colocam em risco a sustentabilidade dos ecossistemas locais. Embora a produção de soja traga benefícios, como a geração de renda e o aumento da produção nacional, práticas não sustentáveis, como o desmatamento e o uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, podem comprometer a qualidade do solo, reduzir a biodiversidade e contaminar recursos hídricos essenciais, como os associados aos rios Tocantins, Araguaia e seus afluentes. Esses impactos, além de ameaçarem os serviços ecossistêmicos indispensáveis ao bem-estar humano, dificultam a consolidação de um desenvolvimento socioeconômico equilibrado e duradouro (CONAB, 2024; IPBES, 2022; Rice, 2018).

Nesse cenário, a degradação dos solos do Cerrado compromete diretamente a disponibilidade e a qualidade dos serviços ecossistêmicos, afetando a biodiversidade, os recursos hídricos e a sobrevivência humana (Sales et al., 2023). Além disso, a expansão urbana, muitas vezes sobre áreas com grau de proteção do solo, pode prejudicar a manutenção ecológica das microbacias hidrográficas, limitando a provisão de seus serviços essenciais (Rodrigues, 2022).

A importância do solo como um recurso vital para o bem-estar humano, especialmente para a segurança alimentar e a mitigação das mudanças climáticas, é amplamente reconhecida. A Avaliação Ecossistêmica do Milênio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) estabeleceu um marco conceitual basilar para a identificação, classificação e valoração dos serviços ecossistêmicos, definindo quatro categorias principais: provisão, regulação, suporte e culturais. Tais serviços, que incluem desde a regulação climática e a purificação de água até a polinização e a provisão de alimentos, são essenciais para o bem-estar e estão intrinsecamente ligados ao manejo sustentável do solo. No Tocantins, onde a intensificação agrícola é notória, a gestão adequada do solo e a preservação desses serviços são cruciais para a sustentabilidade ambiental e o bem-estar das comunidades, conforme evidenciado pela necessidade de equilibrar produção e conservação (Costanza et al., 1997; Embrapa, 2023).

Frente ao exposto, o estudo teve como objetivo analisar os impactos da produção de soja no estado do Tocantins sobre a oferta local de serviços ecossistêmicos. Mais especificamente, buscou-se identificar os serviços ecossistêmicos potenciais associados ao uso e à ocupação do solo da área de estudo; elencar a importância econômica, ambiental e social dos serviços obtidos dos ecossistemas; e, por fim, avaliar de que forma os impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos, provenientes do cultivo de soja afetam o potencial de oferta dos serviços ecossistêmicos identificados.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa caracteriza-se por sua natureza bibliográfica, apoiada em uma abordagem exploratória, com o objetivo de analisar o impacto da expansão da soja sobre os serviços ecossistêmicos no estado do Tocantins, a partir de dados secundários.

A coleta de informações foi realizada por meio de revisão sistemática de literatura, seguindo protocolos metodológicos estabelecidos para garantir rigor, transparência e replicabilidade (Kitchenham, 2004; Moher et al., 2009). Foram utilizadas bases de dados acadêmicas reconhecidas, incluindo Google Acadêmico, SciELO, Web of Science e Scopus, além de periódicos nacionais e internacionais acessíveis via Portal CAPES.

A estratégia de busca foi estruturada com base em descritores específicos relacionados aos temas centrais da pesquisa, articulados mediante sintaxe de busca estruturada para otimizar a recuperação de estudos relevantes. Os critérios de inclusão estabelecidos foram: (a) publicações de plataformas de dados no período de 2019 até 2025; (b) estudos que abordassem impactos ambientais da expansão agrícola; (c) trabalhos focados em práticas de manejo sustentável; e (d) pesquisas que investigassem a relação entre agricultura e serviços ecossistêmicos.

Para complementar a análise bibliográfica com uma perspectiva regional aprofundada, o estudo também incorporou dados secundários específicos do estado do Tocantins. Para delimitar geograficamente o escopo da análise, utilizaram-se dados do Censo Agropecuário de 2017 do IBGE, o levantamento censitário mais recente disponível sobre a agricultura brasileira (IBGE, 2019).

A seleção dos municípios seguiu critérios específicos baseados na relevância produtiva: (a) municípios com maior área plantada de soja; (b)

municípios com maior volume de produção; e (c) representatividade de diferentes regiões do estado. Porto Nacional e Campos Lindos foram incluídos por serem municípios representativos da expansão da sojicultura no Tocantins, ocupando posições de destaque no ranking estadual.

Adicionalmente, para a análise nesses municípios, foram consultados relatórios de órgãos oficiais como a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), além de plataformas de desmatamento, incêndios, alterações meteorológicas e redução do lençol freático, mantendo o recorte temporal de 2019 a 2025 para captar as principais transformações no cenário do cultivo de soja no estado.

A análise conjunto de dados coletados, tanto da revisão bibliográfica quanto das fontes específicas do Tocantins, utilizou a técnica de revisão temática, com leitura aprofundada de cada estudo selecionado para identificar categorias e aspectos relevantes relacionados aos impactos ambientais e estratégias de manejo sustentável. Para a análise quantitativa descritiva, empregou-se a elaboração de tabelas e mapas conceituais que facilitaram a visualização das relações entre fatores ambientais e atividades agrícolas. Os resultados foram interpretados à luz da literatura especializada para estabelecer correlações entre impactos ambientais, práticas de manejo e dinâmicas territoriais dos municípios selecionados.

Embora a expansão da soja no Tocantins tenha implicações ambientais significativas, a ausência de informações detalhadas sobre as práticas de manejo adotadas pelos produtores nas áreas estudadas limita uma compreensão mais precisa dos impactos específicos dessas ações. Portanto, muitas das conclusões sobre os efeitos ambientais são baseadas em dados gerais e na literatura, o que reforça a necessidade de estudos futuros que incluam dados específicos de manejo agrícola (CONAB, 2024; IBGE, 2019; Embrapa, 2023; Evangelista et al., 2022; Rocha, 2018). Essa lacuna evidencia a importância de monitorar e regular as práticas agrícolas de forma a promover a sustentabilidade e minimizar os efeitos negativos sobre os serviços ecossistêmicos essenciais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A expansão da sojicultura no Tocantins se insere em um contexto de intensa transformação do uso do solo, onde as práticas de manejo adotadas

desempenham um papel crucial na determinação dos impactos sobre os serviços ecossistêmicos. Esta seção visa discutir como diferentes manejos do solo geram impactos distintos nesses serviços, contrastando cenários de práticas convencionais e práticas conservacionistas, mantendo uma perspectiva interpretativa cautelosa, que se abstenha de postular relações de causa e efeito peremptórias, dada a natureza bibliográfica e de dados secundários da pesquisa. Para isso, a discussão é apoiada em referências de outros estudos que já comprovaram relações semelhantes em regiões com características edafoclimáticas análogas.

O Panorama das Práticas de Cultivo e seus Impactos Potenciais

Neste estudo, as práticas tradicionais de cultivo de soja referem-se aos métodos comuns utilizados atualmente, que envolvem o uso intensivo de fertilizantes, pesticidas e a expansão por meio de desmatamento. Essas práticas, embora tenham impulsionado a produção, podem causar degradação do solo, perda de biodiversidade e afetar os serviços ambientais dos ecossistemas. Estudos realizados em regiões com características edafoclimáticas semelhantes indicam que práticas agrícolas convencionais tendem a reduzir a capacidade de provisão de serviços de suporte e regulação, como a fertilidade do solo, o ciclo hidrológico e a conservação da biodiversidade (Sales et al., 2023; Rodrigues, 2022). Além disso, a manipulação intensiva do espaço pode levar à compactação do solo, diminuição da matéria orgânica e aumento da vulnerabilidade a processos como erosão e desertificação, comprometendo a sustentabilidade a longo prazo desses ecossistemas.

A sustentabilidade da produção agrícola no Tocantins, e a consequente manutenção dos serviços ecossistêmicos, depende intrinsecamente das práticas de manejo do solo. A conservação e o manejo sustentável destes recursos são cruciais para a segurança alimentar, a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade ambiental, demandando a adoção de práticas agrícolas responsáveis e a proteção de áreas nativas para assegurar a continuidade desses serviços para as futuras gerações (Lima, Oliveira, & Aquino, 2000). A proteção da biodiversidade e dos serviços associados é, portanto, uma estratégia fundamental para a saúde dos ecossistemas e para uma gestão integrada e sustentável dos recursos naturais (Sales et al., 2023).

Para fundamentar essa análise, a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) oferece um marco conceitual que permite a identificação, classificação e valoração dos serviços ecossistêmicos em quatro categorias principais: provisão, regulação, suporte e culturais.

Essa metodologia, sistematizada no Quadro 01, facilita a compreensão dos múltiplos benefícios que os ecossistemas proporcionam e auxilia na formulação de estratégias que buscam equilibrar crescimento econômico, bem-estar social e proteção ambiental.

Quadro 01. Classificação dos serviços ecossistêmicos segundo a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Serviços de Provisão	Serviços de Regulação	Serviços Culturais	Serviços de Apoio
- Alimento; - Água doce; - Combustível; - Fibras; - Bioquímicos.	- Regulação do clima; - Regulação de enfermidades; - Regulação da água; - Purificação da água.	- Espirituais e religiosos; - Recreativos e ecoturísticos; - Estéticos/Inspiradores; - Educacionais.	- Formação do solo; - Ciclo de Nutrientes; - Produção Primária.

Cenários de Impactos: Contrastando Práticas Convencionais e os Benefícios do Manejo Sustentável

A aplicação do arcabouço da Avaliação Ecossistêmica do Milênio aos municípios de Campos Lindos e Porto Nacional, no Tocantins, permite uma análise comparativa dos serviços ecossistêmicos, ilustrando como as práticas agropecuárias podem influenciá-los. O Quadro 02 resume as dimensões econômica, ambiental e social nesses municípios.

A análise dos dados do Quadro 02 evidencia que ambos os municípios dependem fortemente das atividades agropecuárias (serviços de provisão) e do turismo ecológico (serviços culturais e de regulação). Contudo, observam-se nuances nas práticas de manejo que podem influenciar a sustentabilidade ambiental.

Campos Lindos, por exemplo, demonstra um detalhamento maior em suas práticas, como a implementação de rotação de culturas e preservação do solo, o que sugere uma maior maturidade na adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis em comparação com Porto Nacional. Essa diferença pode indicar uma maior resiliência dos serviços ecossistêmicos em Campos Lindos, em consonância com as evidências da literatura sobre os benefícios do manejo conservacionista. A conservação da biodiversidade, como serviço de suporte, e a preservação dos recursos hídricos, como serviço de regulação, são cruciais em ambos os territórios para a

manutenção da integridade dos sistemas naturais regionais (F, 2005).

Apesar do reconhecimento da importância dos serviços ecossistêmicos, a expansão da soja sob manejo convencional frequentemente esbarra em desafios que comprometem sua efetividade. Agentes como o desmatamento, incêndios, alterações meteorológicas e a redução do lençol freático são indicadores de práticas que podem gerar impactos significativos, dificultando o alinhamento da atividade agrícola aos princípios do desenvolvimento sustentável (Alcamo, 2003). Para ilustrar esses potenciais obstáculos à sustentabilidade, detalham-se, a seguir, os impactos inferidos sobre os serviços ecossistêmicos em ambos os municípios, considerando a literatura e o que se espera de cenários com predominância de práticas convencionais:

Desmatamento: A expansão das plantações de soja, especialmente quando realizada sem observância de critérios de conservação, pode potencialmente levar a uma expressiva perda de cobertura vegetal nativa. Em Porto Nacional e Campos Lindos, a literatura e estudos em regiões similares (Rosa, 2014) indicam que essa conversão de florestas e cerrados em áreas agrícolas tem o potencial de prejudicar a biodiversidade e comprometer funções ambientais essenciais, como a regulação do clima e a proteção do solo, afetando diretamente os serviços de suporte e regulação.

Quadro 02. Comparação das dimensões de Campos Lindos e Porto Nacional. Baseado na Millennium Ecosystem Assessment (2005).

Dimensões	Campos Lindos	Porto Nacional
Econômica	Agricultura e Pecuária -Serviços de Provisão: fornecimento de alimentos (grãos, hortaliças, carnes) e água doce para irrigação e consumo. Recursos Naturais: -Serviços de Regulação: regulação da qualidade da água em corpos hídricos locais Serviços Ambientais Pagos: Turismo ecológico: oferta de serviços culturais (recreativos e ecoturísticos) e de regulação ambiental (manutenção da saúde do ecossistema e minimização de doenças).	Agricultura e Pecuária -Serviços de Provisão: alimentos, água doce, fibras. Recursos Naturais: - Serviços de Regulação: regulação da água. Serviços Ambientais Pagos: Turismo ecológico: oferta de serviços culturais (recreativos e ecoturísticos) e de regulação (regulação de enfermidades).
Ambiental	Conservação da Biodiversidade - Serviços de Suporte: habitat e biodiversidade (fauna e flora características). Preservação dos Recursos Hídricos - Serviços de Regulação: regulação e purificação da água em aquíferos, rios e zonas úmidas. Manejo Sustentável dos Recursos Naturais - Serviços de Provisão: alimentos e fibras; ciclo de nutrientes com práticas rotativas e preservação do solo	Conservação da Biodiversidade - Serviços de Suporte: habitat e diversidade biológica. Preservação dos Recursos Hídricos - Serviços de Regulação: regulação e purificação da água. Manejo Sustentável dos Recursos Naturais - Serviços de Provisão: alimentos e fibras; ciclo de nutrientes
Social	Educação Ambiental e Sensibilização - Serviços Culturais educacionais: projetos focados em ecoturismo e conservação. Lazer e Recreação na Natureza - Serviços Culturais: atividades recreativas e ecoturísticas. Práticas Espirituais e Religiosas - Serviços Culturais: cerimônias que conectam comunidades ao ambiente, promovendo identidade e pertencimento	Similar ao de Campos Lindos: educação ambiental, lazer e práticas espirituais, promovendo conexão comunitária e sensibilização ambiental

- Focos de Incêndio: Frequentemente relacionados à limpeza de terras para o cultivo de soja, os focos de incêndio tendem a agravar a degradação ambiental. Em ambos os

municípios, essas queimadas podem contribuir para a degradação do solo, emissão de gases de efeito estufa, perda de vegetação nativa e prejuízo à qualidade do ar e à saúde das comunidades, estabelecendo um ciclo de degradação que dificulta a recuperação dos ecossistemas. Essa relação é amplamente documentada em estudos sobre agricultura e fogo no Cerrado (Sales, 2024).

- Alterações Meteorológicas: Em cenários de monocultura intensiva, a substituição de vastas áreas de vegetação nativa por extensos cultivos de soja pode influenciar os padrões climáticos locais. Na região de Porto Nacional e Campos Lindos, a diminuição da precipitação e a alteração dos ciclos hidrológicos podem ser consequências diretas da redução dos índices de evapotranspiração, desequilibrando o funcionamento natural dos ecossistemas. A literatura sobre mudanças no uso do solo e microclima em biomas tropicais

têm demonstrado tais correlações (Henrique et al., 2021).

- Redução do Lençol Freático: O uso intensivo de água para irrigação em sistemas convencionais, combinado com a perda de cobertura vegetal e a compactação do solo, pode contribuir para a diminuição da disponibilidade hídrica e a redução do lençol freático em ambos os municípios. Esse cenário apresenta um risco para o abastecimento para comunidades e fauna, e a sustentabilidade agrícola a longo prazo, conforme observado em estudos hidrológicos em áreas agrícolas intensivas (Rodrigues, 2021).

Para proporcionar uma visão consolidada e comparativa desses impactos e suas relações com os serviços ecossistêmicos nos municípios de Porto Nacional e Campos Lindos, os dados são sistematizados e apresentados em detalhe no Quadro 03.

Quadro 03. Relação dos municípios de Campos Lindos e Porto Nacional de cada agente com os serviços ecossistêmicos segundo a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Agente	Impactos Observados	
	Porto Nacional	Campos Lindos
Desmatamento	Aumento da perda de cobertura vegetal nativa, com prejuízos à biodiversidade, regulação do clima e proteção do solo devido à conversão para soja.	Perda de habitats, erosão do solo e comprometimento dos recursos hídricos, impactando a biodiversidade e a sustentabilidade agrícola.
Incêndios	Aumento de queimadas para limpeza de terras, contribuindo para degradação ambiental, emissão de gases de efeito estufa, perda de vegetação e prejuízo à qualidade do ar e saúde local.	Queimadas na limpeza de áreas agravam a degradação do solo, afetam a qualidade do ar e a biodiversidade, gerando um ciclo de degradação que impede a recuperação dos ecossistemas.
Alterações meteorológicas	Mudança nos padrões climáticos locais (diminuição da precipitação e alteração de ciclos hidrológicos) devido à substituição da vegetação nativa, o que reduz a evapotranspiração e afeta o equilíbrio dos ecossistemas.	Mudanças no clima local (chuvas e temperaturas) provocadas pela remoção da vegetação nativa, afetando a agricultura, disponibilidade de água e ecossistemas, exigindo conciliação entre conservação e produção.
Redução do lençol freático	Diminuição do lençol freático devido ao uso intensivo de água para irrigação e perda de cobertura do solo, comprometendo a infiltração de água e ameaçando o abastecimento para comunidades e fauna.	Contribuição para a diminuição do lençol freático devido ao uso excessivo de água na irrigação e degradação do solo (desmatamento/compactação), prejudicando a agricultura, o abastecimento e a biodiversidade local.

A Contribuição das Práticas Conservacionistas na Mitigação de Impactos e no Fortalecimento de Serviços Ecossistêmicos

Apesar dos desafios impostos pelas práticas convencionais, a literatura e a observação de Campos Lindos sugerem a existência de um caminho mais sustentável. Práticas agrícolas conservacionistas, como o manejo conservacionista, a rotação de culturas, o plantio direto e a adoção de sistemas agroflorestais, juntamente com a redução do uso de insumos químicos, são reconhecidas por seu potencial em preservar a estrutura do solo, aumentar sua fertilidade, melhorar a qualidade da água, proteger a biodiversidade e fortalecer a resiliência dos ecossistemas.

Estudos em regiões com características edafoclimáticas semelhantes ao Tocantins fornecem robustas evidências desses benefícios:

- **Plantio Direto:** Pesquisas no Cerrado brasileiro (Resck, 1997; Melo et al. 2021) demonstram que o plantio direto resulta em aumento significativo da matéria orgânica no solo, melhoria da estrutura e redução da erosão hídrica e eólica, impactando positivamente os serviços de suporte (formação do solo, ciclagem de nutrientes) e de regulação (hídrica e climática).
- **Rotação de Culturas e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF):** Em biomas tropicais e subtropicais, a rotação de culturas e sistemas como a ILPF têm sido consistentemente correlacionados com a

melhoria da biodiversidade do solo, a capacidade de ciclagem de nutrientes e a redução da incidência de pragas, promovendo os serviços de suporte e regulação (Silva et al., 2022; Balbino, Wruck & Andrade, 2011).

- Redução do Uso de Insumos Químicos: A diminuição do uso de pesticidas e fertilizantes, conforme a literatura (Andrade Neto, 2024), contribui para a purificação da água (serviço de regulação) e a manutenção da biodiversidade (serviço de suporte), minimizando a contaminação de recursos hídricos e do solo.

Essas ações, quando implementadas, reforçam significativamente o potencial de oferta de serviços ecossistêmicos e contribuem para um desenvolvimento genuinamente sustentável, como ilustrado pelas práticas mais avançadas observadas em Campos Lindos.

Ponderando Desafios e Oportunidades

É crucial ressaltar que as inferências sobre os impactos e a eficácia de diferentes manejos, apresentadas nesta seção, são baseadas em uma revisão bibliográfica e na análise de dados secundários. Este estudo não apresenta dados primários ou análises estatísticas que permitam estabelecer conclusões determinísticas sobre causa e efeito em nível local específico nos municípios de Porto Nacional e Campos Lindos. As observações e correlações apresentadas configuram cenários potenciais e indicativos, que reforçam tendências já estabelecidas em outros contextos científicos e pela literatura especializada. Elas apontam para as relações já comprovadas entre práticas agrícolas e serviços ecossistêmicos em regiões com características edafoclimáticas semelhantes, mas que demandam estudos de campo aprofundados para uma comprovação irrefutável no contexto específico da área estudada.

Em síntese, a análise revela que os efeitos do cultivo da soja nos serviços ecossistêmicos representam uma balança entre desafios e oportunidades. Embora as práticas convencionais, como evidenciado pela literatura e pelos impactos potenciais descritos, possam comprometer a sustentabilidade, a adoção de estratégias sustentáveis é fundamental para mitigar os efeitos negativos, potencializar os benefícios e garantir a integridade dos ecossistemas e a continuidade dos serviços essenciais para a sociedade, promovendo um

desenvolvimento equilibrado e o bem-estar duradouro das comunidades.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão da cultura da soja no Tocantins, embora inegavelmente contribua para o desenvolvimento econômico da região, revela um paradoxo: se, por um lado, impulsiona a prosperidade, por outro, seus modelos atuais de produção impõem desafios ambientais significativos. A degradação de serviços ecossistêmicos vitais, como a regulação climática, a qualidade da água, a fertilidade do solo e a conservação da biodiversidade, é uma consequência direta de práticas como o desmatamento, o uso excessivo de insumos e a pressão sobre os recursos hídricos, conforme detalhado neste estudo.

Diante desse cenário, para assegurar que a sojicultura atinja um patamar de sustentabilidade, conciliando crescimento econômico, justiça social e proteção ambiental. O estudo aponta para a urgência da implementação de estratégias multifacetadas:

- Incentivo a Práticas Agrícolas Sustentáveis: É imperativo que produtores, especialmente em municípios como Campos Lindos e Porto Nacional, adotem e sejam incentivados à implementação de técnicas de manejo conservacionista. Isso inclui a rotação de culturas, o plantio direto, a integração com sistemas agroflorestais e a redução do uso de insumos químicos. Para isso, recomenda-se a concessão de incentivos fiscais e linhas de crédito específicas que facilitem a transição para métodos produtivos de baixo impacto, aumentando a resiliência dos ecossistemas e a capacidade de oferta de serviços ambientais.
- Fomento à pesquisa e adoção de tecnologias inovadoras: o desenvolvimento e a disseminação de tecnologias inovadoras que otimizem o uso da terra e dos recursos hídricos são cruciais. Isso abrange desde sistemas de irrigação mais eficientes, cultivares adaptadas a condições climáticas adversas, até soluções para a recuperação de áreas degradadas e o sequestro de carbono no solo. A colaboração entre instituições de pesquisa (como a Embrapa), universidades e o setor privado deve ser fortalecida para acelerar a inovação e sua aplicação prática no campo.

- Fortalecimento de Políticas Públicas e Fiscalização Ambiental: recomenda-se o aperfeiçoamento e a rigorosa aplicação de políticas públicas de proteção ambiental, com fiscalização efetiva contra o desmatamento ilegal e as queimadas. Além disso, é fundamental que essas políticas promovam a conservação de áreas nativas e a restauração de ecossistemas estratégicos para a manutenção dos serviços ecossistêmicos.
- Educação ambiental e engajamento de partes interessadas: é essencial fomentar uma conscientização crescente entre agricultores, comunidades locais e a sociedade em geral sobre a importância dos serviços ecossistêmicos e os impactos das práticas agrícolas. Programas de educação ambiental e plataformas de diálogo colaborativo entre governo, setor privado e comunidades são mecanismos-chave para desenvolver estratégias integradas e assegurar que os benefícios da produção sejam distribuídos de forma mais equitativa.
- Monitoramento contínuo e valorização econômica dos serviços ecossistêmicos: a pesquisa demonstra a necessidade de um sistema de monitoramento constante dos impactos da soja, utilizando indicadores claros de saúde do solo, biodiversidade e regime hídrico. Mais ainda, a valorização econômica dos serviços ecossistêmicos na tomada de decisões setoriais e governamentais pode alinhar os interesses econômicos com a conservação ambiental, promovendo um desenvolvimento agrícola mais holístico e responsável.

Em síntese, para um futuro da sojicultura no Tocantins reside na capacidade de transcender o modelo de crescimento extensivo. É um convite à ação para que todas as partes envolvidas invistam em um planejamento integrado, consciente e inovador, garantindo que as gerações futuras possam usufruir de ecossistemas produtivos e equilibrados, essenciais para a qualidade de vida e o bem-estar duradouro.

FINANCIAMENTO

Esta pesquisa foi realizada com apoio financeiro concedido pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), conforme

edital nº 001/2023 da Unitins (modalidades CNPq/UNITINS/FAPT) – ciclo 2023-2024.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcamo, J. (2003). **Ecossistemas e bem-estar humano: Estrutura para uma avaliação**. Millennium Ecosystem Assessment. Recuperado de <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.63.aspx.pdf>

Andrade Neto, A. O. (2024). **Redução de insumos e impactos ambientais na agricultura** [Trabalho de conclusão de curso, Centro Universitário do Vale do Araguaia]. Repositório UNIVAR. https://repositorio.univar.edu.br/wp-content/uploads/tainacan-items/3353/15573/1827512084308474_ALCIDES-OLIVEIRA-ANDRADE-NETO.pdf

Balbino, A., Wruck, F. J., & Andrade, L. A. Z. (2011). **Sistemas de ILPF no Bioma Cerrado** [Material didático]. Senar EaD. https://ead.senar.org.br/wp-content/uploads/capacitacoes_conteudos/ilpf/CURS_O_6/AULA_3_-_PRINCIPAIS_ESTRTG_ESP_FLORESTAIS_ILPF_BIOMA_CERRADO.pdf

Chan, K. M., Guerry, A. D., Balvanera, P., Klain, S., Satterfield, T., Basurto, X., ... Woodside, U. (2012). Onde estão o cultural e o social nos serviços ecossistêmicos? Uma estrutura para engajamento construtivo. **BioScience**, 62(8), 744–756. Recuperado de <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/62/8/744/244312>

Companhia Nacional de Abastecimento. (2024). **Safra 2024/2025 – Relatório de produção da soja**. Brasília, DF: CONAB. Recuperado de <https://www.conab.gov.br/>

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, 387(6630), 253–260. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/387253a0>

- Embrapa. (2023). **Serviços ecossistêmicos do solo sob intensificação sustentável da agricultura**: Em busca de mapeamento e monitoramento inovadores em múltiplas escalas (SOIL-ES). Brasília, DF: Embrapa. Recuperado de <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/221310/servicos-ecossistemicos-do-solo-sob-intensificacao-sustentavel-da-agricultura-em-busca-de-mapeamento-e-monitoramento-inovadores-em-multiplas-escalas-soil-es>
- Evangelista, B. A., Campos, L. J. M., da Silva, F. A. M., Simon, J., Ribeiro, I. L., & Vale, T. M. (2022). **Possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja no estado do Tocantins**. In Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) — Estudos 2022. Embrapa Pesca e Aquicultura. Recuperado de <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-1143011/Description>
- Henrique, J., de Carvalho, J. J., Silva, J. G. D., da Luz, J. M. R., & da Silva, J. E. C. (2021). **Estudo sobre os impactos ambientais no solo do cerrado provocados pela inserção da cultura da soja**. *Singular. Engenharia, Tecnologia e Gestão*, 1(3), 17-23. Recuperado de <http://ulbrato.br/singular/index.php/SingularETG/article/view/111>
- IBGE. (2019). **Censo Agropecuário 2017: Resultados definitivos**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IPBES. (2022). **Assessment report on the diverse values and valuation of nature**. Bonn, Alemanha: IPBES Secretariat. Recuperado de <https://www.ipbes.net/the-values-assessment>
- Kitchenham, B. (2004). **Procedures for performing systematic reviews** (*Relatório Técnico* No. 33). Keele University. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Barbara-Kitchenham/publication/228756057_Procedures_for_Performing_Systematic_Reviews/links/618cfae961f09877207f8471/Procedures-for-Performing-Systematic-Reviews.pdf
- Lima, A. A. C., Oliveira, F. N. S., & Aquino, A. R. L. (2000). **Solos e aptidão agrícola das terras do Estado do Tocantins** (27 p.). Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical. Recuperado de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/12032/1/Dc-031.pdf>
- Melo, F. B., Silva, J. R., Oliveira, M. A., & Santos, L. F. (2021). **Disponibilidade de nutrientes e de matéria orgânica em função do tempo de uso do solo em plantio direto no Cerrado do Sudoeste Piauiense**. Embrapa Meio-Norte. Recuperado de <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-1141176/Description>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington, DC: Island Press. Recuperado de <https://www.millenniumassessment.org>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). **Itens de relato preferenciais para revisões sistemáticas e meta-análises: A declaração PRISMA**. *BMJ*, 339, b2535. Recuperado de <https://www.bmj.com/content/339/bmj.b2535.short>
- Resck, D. V. S. (1997). **O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos Cerrados**. Embrapa Cerrados. Recuperado de <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-alice-doc-553720/Description>
- Rodrigues, J. P. D. O. (2022). **Monitoramento ambiental dos córregos urbanos no município de Palmas-TO** [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Tocantins]. Recuperado de <http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/5265>
- Rodrigues, L. N., & Cambraia Neto, A. J. (2021). **Recarga e sua importância para as águas subterrâneas e para a sustentabilidade da agricultura na região do Cerrado**. Embrapa Cerrados. Recuperado de <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60455159/artigo---recarga-e-sua-importancia-para-as-aguas-subterraneas-e-para-a-sustentabilidade-da-agricultura-na-regiao-do-cerrado>
- Rosa, M. C. (2014). Agronegócio e acumulação por espoliação: o enclave da soja em Campos Lindos (TO). **Revista Sociedade e Estado**, 29(1), 145–165. Recuperado de

<https://www.scielo.br/j/se/a/9Nr8wczqRbznsMtz7C3nHv/>

Rice, J., et al. (2018). **Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. Bonn, Alemanha: IPBES Secretariat. Recuperado de <https://research.fs.usda.gov/treearch/56826>

Rocha, C. E. R., & Foschiera, A. A. (2018). Expansão da produção agrícola no território do Matopiba: Territorialização de agentes econômicos do setor sojicultor em Porto Nacional–TO [Expansion of agricultural production in the territory of Matopiba: Territorialisation of economic agents of the soybean sector in Porto Nacional–TO]. **Caderno de Geografia**, 28(52), 145–165. Recuperado de <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/p.2318-2962.2018v28n52p145>

Sales, A. (2024, 25 setembro). **Fogo é nova ameaça ao Cerrado em território agrícola**. Agência Eco Nordeste. Recuperado de <https://agenciaeconordeste.com.br/matopiba/queima-das-ameacam-o-que-resta-do-cerrado-em-territorio-agricola/>

Sales, G. B., Frazão, L. A., Fernandes, L. A., Oliveira, J. C., & Veloso, M. D. M. (2023). Efeito da degradação sobre os atributos do solo em ecossistemas de veredas no cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 43. Montes Claros, MG: Universidade Federal de Minas Gerais. Recuperado de <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/76964>

Silva, M. A., Nascente, A. S., Lanna, A. C., Rezende, C. C., Cruz, D. R. C., de Mello Frasca, L. L., & de Filippi, M. C. C. (2022). Sistema de plantio direto e rotação de culturas no Cerrado. **Research, Society and Development**, 11(13), e376111335568-e376111335568. Recuperado de <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35568>