Competitividade da soja sob agricultura regenerativa no Cerrado: análise de viabilidade econômica

Competitiveness of soybeans under regenerative agriculture in the Cerrado: an economic feasibility analysis

Tatiana Silva Borges
Programa de Pós-Graduação em Agronegócio da Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, Brasil.

Rubia Cristina Arantes Marques
Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde (IF Goiano), Rio Verde, GO, Brasil.

GT2. Governança e gestão do agronegócio

Resumo: Este estudo avaliou a viabilidade econômica e a competitividade da produção de soja em sistemas de agricultura regenerativa (AR) comparativamente à agricultura conservacionista (AC) no Cerrado brasileiro, preenchendo lacunas sobre o desempenho financeiro de práticas sustentáveis em larga escala. A pesquisa utilizou dados de campo do Projeto Regenera Cerrado, no Sudoeste Goiano, monitorando dezesseis sistemas produtivos (oito pares de talhões) durante as safras 2022/23 e 2023/24. Aplicou-se a metodologia de Guiducci et al. (2012) para calcular indicadores de eficiência sob a ótica do empreendedor, incluindo Renda Líquida (RL), Ponto de Nivelamento (PN), Produtividade Total dos Fatores (PTF) e Taxa de Retorno (TR). Os resultados demonstraram que tanto a AR quanto o AC são modelos economicamente viáveis, com a PTF situando-se majoritariamente acima de 1 em ambos os casos. A AC manteve competitividade superior na maximização de lucros e taxas de retorno em ambientes de alto potencial produtivo, beneficiando-se da diluição de custos gerada por produtividades mais elevadas. Por outro lado, a AR destacou-se pela eficiência na gestão de risco e resiliência financeira, apresentando frequentemente um Ponto de Nivelamento inferior ao da AC, o que exige menor produtividade para cobrir os custos totais devido a uma estrutura de gastos por hectare geralmente mais enxuta. Conclui-se que, embora viável, a consolidação da competitividade da AR frente ao modelo conservacionista pode requerer políticas públicas e mecanismos de mercado, como pagamentos por serviços ambientais, que remunerem o produtor pela conservação dos recursos naturais.
Palavras-chave: indicadores econômicos, custos de produção, Projeto Regenera Cerrado.

Abstract: This study evaluated the economic viability and competitiveness of soybean production in Regenerative Agriculture (RA) systems compared with conservation agriculture (CA) in the Brazilian Cerrado, thereby closing knowledge gaps on the monetary performance of large-scale eco-friendly practices. The research used field data from the Regenera Cerrado Project in Southwest Goiás, monitoring sixteen production systems (eight pairs of plots) during the 2022/23 and 2023/24 growing seasons. The method of Guiducci et al. (2012) was applied to calculate efficiency indicators from the entrepreneur's perspective, including Net Income (NI), Break-Even Point (BEP), Total Factor Productivity (TFP), and Rate of Return (RR). The results showed that both RA and CA are economically viable models, with TFP mostly above 1 in both cases. CA maintained superior competitiveness in maximizing profits and returns in high-potential productive environments, benefiting from cost dilution driven by higher production ceilings. On the other hand, RA stood out for its efficiency in risk management and economic robustness, often exhibiting a lower break-even point than CA, which requires lower productivity to cover total costs due to a generally leaner cost structure per hectare. It is concluded that, although viable, consolidating RA's competitiveness relative to the conservation model may require public policies and commercial mechanisms, such as payments for environmental services, that compensate producers for conserving natural resources.
Keywords: Economic indicators, production costs, Regenera Cerrado Project.

1. Introdução

A soja ocupa posição estratégica no sistema alimentar global, como o quarto grão mais produzido e a principal oleaginosa cultivada anualmente (Hirakuri; Lazzarotto, 2014). A região Centro-Oeste, que abrange grande parte do Cerrado, consolidou-se como o motor dessa expansão, detendo o maior estoque de terras aptas à agricultura e respondendo por mais de 50% da produção nacional em 2022 (Vieira Filho, 2024). Contudo, a produção em larga escala no bioma foi historicamente baseada no modelo de cultivo tradicional (CT), caracterizado pelo uso intensivo de fertilizantes minerais, pesticidas sintéticos e revolvimento do solo (Schoonover; Crim, 2015).

Embora esse modelo tenha impulsionado ganhos de eficiência produtiva (McLennon et al., 2021), a literatura destaca impactos ambientais como degradação do solo, perda de biodiversidade e maior vulnerabilidade a eventos climáticos extremos (Khangura et al., 2023). Ademais, o agronegócio brasileiro enfrenta pressões crescentes de mercados globais, como o Regulamento Anti-Desflorestamento da União Europeia (EUDR), que impõe barreiras não tarifárias e exige a transição para modelos sustentáveis com a rastreabilidade de *commodities* (Oliveira et al., 2024).

Neste cenário, a agricultura regenerativa (AR) surge como uma alternativa para conciliar a produção em larga escala e conservação ambiental. Seu objetivo central é restaurar a saúde do solo, melhorando a qualidade da água, a vegetação e a produtividade agrícola (Muhie, 2022). Seus princípios fundamentais incluem a minimização do revolvimento do solo, a redução ou eliminação de insumos externos, a manutenção da cobertura permanente do solo, a maximização da diversidade de culturas e a integração lavoura-pecuária (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021).

Diferente do CT, que prioriza ganhos imediatos de produtividade e eficiência com a utilização de fertilizantes minerais, pesticidas sintéticos e revolvimento do solo (McLennon et al. 2021; Rhodes, 2012), a AR adota perspectiva sistêmica e ecológica (Constantin et al., 2022). Sua estratégia central reduz a dependência de recursos naturais e de insumos externos, mitiga a degradação ambiental e fortalece a resiliência econômica a longo prazo (Lal, 2020).

Apesar dos benefícios ambientais amplamente reconhecidos, a literatura carece de indicadores padronizados para avaliar o desempenho econômico desses sistemas (Velasco-Muñoz et al., 2021). Persistem lacunas sobre os custos de transição, a lucratividade a

longo prazo e o retorno sobre o investimento (Khangura et al., 2023). No Cerrado brasileiro, a escassez de estudos empíricos sobre os custos da AR é um entrave para sua adoção em larga escala, pois a comprovação da rentabilidade é essencial para os produtores. Khangura et al. (2023) apontam que a maior barreira é a falta de conhecimento regionalmente específico e evidências baseadas na ciência para a transição de CT para AR.

Esta pesquisa preenche essa lacuna científica ao avaliar a viabilidade econômica e competitividade do cultivo de soja em sistemas regenerativos (AR) frente à agricultura conservacionista (AC) no Cerrado brasileiro. Baseia-se na metodologia de Guiducci et al. (2012) para a análise de viabilidade de sistemas de produção, compreendendo como o manejo impacta o desempenho econômico sob a ótica do empreendedor.

A partir do monitoramento de propriedades do Projeto Regenera Cerrado no Sudoeste Goiano, este trabalho analisa indicadores como Renda Líquida (RL), Ponto de Nivelamento (PN), Produtividade Total dos Fatores (PTF) e Taxa de Retorno (TR). Esses indicadores oferecem subsídios práticos a produtores e formuladores de políticas públicas, demonstrando o potencial da AR como alternativa economicamente viável e competitiva no agronegócio nacional.

2. Revisão da Literatura

A agricultura regenerativa (AR) é definida como uma abordagem que utiliza a conservação do solo como ponto de entrada para regenerar e contribuir para múltiplos serviços ecossistêmicos, visando melhorar as dimensões ambientais, sociais e econômicas da produção sustentável de alimentos (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021). Os princípios da AR, que se assemelham aos da agricultura conservacionista (AC), incluem minimizar o revolvimento do solo através do plantio direto, eliminar ou reduzir o uso de insumos externos, manter cobertura vegetal permanente no solo, maximizar a diversidade de plantas e integrar a pecuária às produções agrícolas (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021).

Em contraste, o cultivo tradicional (CT), também conhecido como agricultura convencional ou industrial, é frequentemente caracterizado pelo uso intensivo de insumos externos para manejo de nutrientes e controle de pragas, bem como pelo revolvimento do solo e manutenção de solo exposto em determinados períodos (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021). Estudos indicam que o sucesso dos sistemas regenerativos não se deve a uma prática isolada,

mas ao efeito sinérgico do empilhamento de múltiplas práticas regenerativas em um único sistema operacional (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021).

A AC é um sistema de produção agrícola sustentável que visa melhorar a produtividade, os lucros e a segurança alimentar, preservando a base de recursos naturais e o meio ambiente (Naab et al., 2017). Barrowclough et al. (2016) apontam que a base técnica da AC sustenta-se em três princípios fundamentais: (i) revolvimento mínimo do solo para reduzir a erosão; (ii) cobertura permanente do solo para reter a umidade; e (iii) rotação de culturas para controlar pragas e melhorar a produtividade. Diante dos benefícios, a AC é amplamente adotada em todo o mundo, com área total estimada em cerca de 157 milhões de hectares, concentrando-se fortemente nas Américas (Vastola et al., 2017).

O ponto de divergência mais significativo entre a AC e o CT está no manejo do solo, sendo que o CT é marcado pelo revolvimento intensivo, prática que degrada a estrutura do solo e reduz sua matéria orgânica (Khangura et al., 2023). Em contrapartida, a AC tem como princípio o revolvimento mínimo ou nulo, como o plantio direto, preservando a biologia e a umidade do solo (Ngwira et al., 2013). Essa característica faz da AC a prática de transição mais elementar e consolidada para sistemas mais abrangentes e resilientes, como a AR (Gosnell et al., 2019). Ambas utilizam das “Melhores Práticas de Gestão”, focadas em otimizar a lucratividade e a sustentabilidade minimizando impactos, sendo importante notar que a adoção isolada de algumas dessas práticas pode ocorrer até no CT, sem transformá-lo em um sistema conservacionista ou regenerativo.

Apesar de compartilharem práticas fundamentais, a AR e a AC diferem em sua abrangência sistêmica. Enquanto a AC parte de uma lógica predominantemente técnica, com foco central na conservação do solo e na eficiência agronômica, a AR adota uma perspectiva mais ecológica e sistêmica, com ênfase na integração produtiva.

A literatura sugere que a transição do CT para AC ou AR pode envolver dinâmicas de produtividade variáveis. Em sistemas de rotação milho-soja, observou-se que a produtividade tende a ser menor com a AC em comparação com o CT em determinados contextos (Siemens e Oschwald, 1978). Contudo, estudos de longo prazo indicam que os benefícios da AC podem levar tempo para se materializar. Por exemplo, em sistemas de milho no Malawi, benefícios significativos de produtividade da AC sobre o CT só foram aparentes após quatro anos de experimentação em ambientes com condições ideais, embora em ambientes marginais os benefícios tenham sido imediatos (Ngwira et al., 2013). Similarmente, em rotações arroz-trigo

na Índia, a produtividade do sistema foi maior em sistemas baseados em AC a partir do segundo ano em diante (Jat et al., 2014).

Embora alguns estudos demonstrem uma redução de rendimento em AR, como o resultado de uma pesquisa com 29% menos grãos em milho AR comparado ao CT (LaCanne e Lundgren, 2018), outros indicam que AR bem estabelecidos podem ter rendimentos similares aos sistemas convencionais, como apontado por Fenster, Oikawa e Lundgren (2021) em estudo realizado em pomares de amêndoas. Em rotações diversificadas no Canadá, os rendimentos de culturas como linho e ervilha foram 7-13% maiores sob AC do que sob CT (Zentner et al., 2002).

A literatura aponta que a AR pode ser mais lucrativa que o CT, mesmo quando há penalidade na produtividade. Em um estudo comparativo nos EUA, campos de milho AR foram quase duas vezes mais lucrativos que os CT, impulsionados por menores custos de insumos e prêmios de mercado (LaCanne e Lundgren, 2018). Em pomares de amêndoas, o lucro foi duas vezes maior nos sistemas AR (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021). No Canadá, os retornos líquidos foram geralmente mais altos para rotações diversificadas sob AC e mais baixos para monoculturas de cereais sob CT (Zentner et al., 2002).

Em sistemas de milho sob AR, os custos com sementes e fertilizantes representaram apenas 12% da renda bruta, contra 32% no CT (LaCanne e Lundgren, 2018). O uso de leguminosas na rotação pode gerar economias substanciais de fertilizantes nitrogenados para as culturas subsequentes, melhorando a margem bruta da rotação de culturas (Preissel et al., 2015). Práticas como plantio direto ou cultivo mínimo, comuns na AR, tendem a reduzir significativamente o consumo de combustível, reparos de máquinas e mão de obra (Zentner et al., 2002). Na Índia, a adoção de plantio direto reduziu o custo de produção em comparação ao preparo convencional devido à eliminação de operações de preparo do solo (Sapkota et al., 2014).

É importante notar que, em fases de transição ou em sistemas de AR, ou AC, que não eliminam totalmente os químicos, a economia com maquinário pode ser compensada pelo aumento nos custos com herbicidas (Zentner et al., 2002). Contudo, em sistemas maduros de AR, que substituem inseticidas e herbicidas por diversidade biológica e cobertura de solo, a lucratividade pode aumentar significativamente (LaCanne e Lundgren, 2018).

Sistemas diversificados e com preparo conservacionista tendem a apresentar menor variabilidade de renda, sendo preferíveis para produtores avessos ao risco (Zentner et al., 2002). A AR pode oferecer maior resiliência econômica, como apontado por Sapkota et al.,

(2014), que estudaram sistemas de plantio direto que se mostraram mais produtivos e rentáveis em anos com estresse térmico em trigo.

Deve-se ainda considerar a qualidade do solo não apenas como indicador ambiental, mas como vetor de rentabilidade. Foi encontrada uma correlação positiva entre a lucratividade e o nível de matéria orgânica no solo, e não com a produtividade de grãos (LaCanne e Lundgren, 2018). Práticas regenerativas aumentam o carbono total do solo e a matéria orgânica, o que melhora a capacidade de retenção de água e a infiltração, fatores críticos para a estabilidade produtiva (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021).

Para analisar a viabilidade econômica da AR, pesquisadores utilizam uma combinação de indicadores financeiros diretos, métricas de eficiência e avaliações sistêmicas de longo prazo. O indicador mais frequente é o retorno líquido, lucro líquido ou renda líquida, calculado subtraindo-se os custos totais de produção da receita total obtida (LaCanne e Lundgren, 2018). Na produção de amêndoas e milho AR, por exemplo, pesquisadores calcularam a lucratividade considerando não apenas a venda do produto principal, mas também receitas adicionais e a redução de custos com insumos sintéticos (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021).

Estudos comparativos utilizam o retorno líquido para demonstrar que, mesmo quando a produtividade, em quilos por hectare, é menor na AR, o lucro pode ser superior devido à redução de custos operacionais e prêmios de preço pago por produtos orgânicos ou regenerativos (Fenster; Oikawa; Lundgren, 2021).

Em revisão de 19 estudos sobre leguminosas na Europa, Preissel et al. (2015) identificaram a margem bruta, que é calculada subtraindo os custos variáveis diretos pelo valor de mercado da colheita, como indicador usado para avaliar a competitividade das leguminosas em rotações regenerativas. Os pesquisadores ainda apontam o uso da margem bruta expandida, que adiciona à margem bruta o valor do pré-cultivo, como benefícios de rendimento e economia de custos deixados para a cultura subsequente. No mesmo estudo, Preissel et al. (2015) indicam ainda a margem bruta da rotação, que calcula a média da margem bruta de todas as culturas na rotação ao longo dos anos, capturando os benefícios sistêmicos que uma análise de safra única perderia.

Quanto aos indicadores de eficiência, Sapkota et al. (2014) utilizaram a relação Benefício-Custo, que mede o retorno monetário para cada unidade monetária gasta, para destacar a eficiência do capital investido em sistemas de conservação. Em contextos de

agricultura familiar, Ngwira et al. (2013) calcularam o retorno financeiro por dia de trabalho investido, o que é essencial onde a mão de obra é um fator limitante.

Para Walker e Young (1986), a análise econômica deve também considerar o dano a longo prazo da erosão do solo no CT, visto que o progresso tecnológico pode mascarar as perdas de produtividade causadas pela erosão, levando a uma falsa sensação de segurança econômica no curto prazo, enquanto a base de recursos é degradada. Os pesquisadores destacam que modelos econômicos demonstram que, ao considerar o valor do solo a longo prazo, o incentivo para adotar práticas de conservação aumenta.

A análise da competitividade da AR requer um arcabouço metodológico que considere a complexidade dos sistemas produtivos agrícolas. A metodologia de Guiducci et al. (2012) distingue os papéis do empreendedor, responsável pelo risco e decisões de produção, e do capitalista, remunerado pelo custo de oportunidade do capital e da terra. Sob a ótica do empreendedor, o custo total deve contemplar a remuneração de todos os fatores de produção, incluindo o arrendamento da terra e a depreciação, para refletir a estabilidade real do negócio (Guiducci et al., 2012).

Para avaliar a eficiência e viabilidade da produção para o empreendedor, utilizam-se indicadores como: (i) Renda Líquida (RL), que é o resíduo após a remuneração de todos os custos, representando o retorno pelo risco da atividade. É calculada subtraindo-se o custo total da receita total, onde, se for maior ou igual a zero, a atividade é estável e sustentável; (ii) Ponto de Nivelamento (PN), também conhecido como Ponto de Equilíbrio, é a produção mínima necessária para cobrir os custos totais, sendo calculado dividindo o Custo Total pelo Preço de Venda; (iii) Produtividade Total de Fatores (PTF), que é a razão entre receita total e custo total, indicando a eficiência no uso dos recursos. O índice deve ser no mínimo igual a 1 para que o sistema se sustente; quanto maior o valor, mais eficiente e rentável é o sistema; e (iv) Taxa de Retorno (TR), que é a renda líquida gerada por unidade monetária de custo, sendo obtida dividindo a renda líquida pelo custo total (Guiducci et al., 2012).

3. Metodologia

Com base nos critérios de Gerhardt e Silveira (2009), esta pesquisa classifica-se como: (i) Aplicada: gera conhecimentos práticos para a solução de problemas, subsidiando produtores e formuladores de políticas sobre a viabilidade da transição para AR; (ii) Quantitativa: fundamenta-se em linguagem matemática para descrever causas econômicas,

com indicadores financeiros e de eficiência; (iii) Descritiva e explanativa: detalha custos das propriedades monitoradas e explica o impacto do manejo (AR ou AC) no desempenho econômico; e (iv) Documental e estudo de campo: baseia-se em dados primários monitorados de talhões pareados, neutralizando variáveis edafoclimáticas para isolar efeitos do manejo.

Esta pesquisa baseou-se na metodologia de Guiducci et al. (2012) para análise de viabilidade econômica de sistemas de produção de soja. Os dados primários provieram do Projeto Regenera Cerrado, que monitora práticas de AR em onze propriedades no Sudoeste Goiano. A coleta de dados envolveu planilhas de campo preenchidas por produtores e técnicos, validadas por entrevistas com a equipe do projeto para garantir precisão dos itinerários agronômicos. Selecionaram-se 16 sistemas com registros completos e manejos AR e AC simultâneos na mesma propriedade e ano-safra, abrangendo as safras 2022/23 e 2023/24 (oito pares de talhões por safra).

A base teórica da metodologia de Guiducci et al. (2012) distingue dois papéis econômicos do produtor rural mesmo que exercidos pela mesma pessoa: (i) Empreendedor: decide a produção e assume o risco do negócio; e (ii) Capitalista: remunera o capital via aluguéis e custo de oportunidade, independentemente do resultado da safra. Sob a ótica do empreendedor, o custo total remunera todos os fatores de produção, próprios ou de terceiros (Guiducci et al., 2012). A metodologia classifica os dispêndios em quatro categorias: (i) Custeio, sendo o custo com insumos, operações e impostos; (ii) Mão de obra familiar; (iii) Depreciação do capital; e (iv) Custo de oportunidade.

Neste estudo, a perspectiva adotada para o cálculo dos custos de produção foi a do empreendedor. Incluiu-se na matriz de custos o custeio e o custo de oportunidade, neste caso, o arrendamento da terra, mesmo nos casos em que o produtor era o proprietário. Conforme registros nas planilhas do Regenera Cerrado, o arrendamento foi determinado em 15 sacas por hectare, convertido conforme preço de venda da saca. Optou-se por não considerar no custo de produção a mão de obra familiar e a depreciação do capital, devido a variabilidade e especificidades de cada fazenda.

Este estudo baseou-se na matriz de custos do projeto Regenera Cerrado, preenchida conforme as especificidades operacionais de cada fazenda. Dada a heterogeneidade nos registros, como depreciação de máquinas e variações nos preços de insumos e comercialização, a análise econômica limitou-se à comparação pareada de talhões da mesma unidade produtiva e ano-safra. Essa abordagem visou neutralizar distorções administrativas e

logísticas, atribuindo as variações nos indicadores predominantemente aos sistemas de manejo.

Todas as informações foram padronizadas por hectare, com doses em kg ha^{-1} ou L ha^{-1} e produtividade registrada em sacas ha^{-1}, garantindo comparabilidade entre talhões e safras. As análises financeiras basearam-se nos indicadores renda líquida (RL), ponto de nivelamento (PN), produtividade total dos fatores (PTF) e taxa de retorno (TR).

A classificação em AR ou AC foi definida conjuntamente entre produtores, técnicos e pesquisadores do Regenera Cerrado, com base na caracterização prática dos itinerários técnicos. Este estudo analisou a realidade operacional reportada, sem julgar a adequação técnica frente às recomendações agronômicas convencionais.

A análise comparativa abrangeu as safras 2022/23 e 2023/24, totalizando 16 itinerários técnicos conforme os critérios estabelecidos. O delineamento pautou-se no pareamento dos talhões, AR e AC dentro da mesma unidade produtiva, permitindo confronto direto de custos e indicadores econômicos sob condições ambientais e de gestão similares. Todos os indicadores foram normalizados por hectare (ha-1), garantindo a comparabilidade e a escalabilidade entre fazendas de diferentes tamanhos.

3.1 Indicadores econômicos

Fundamentada na metodologia de Guiducci et al. (2012), a descrição detalhada a seguir expõe os indicadores econômicos utilizados para a análise de viabilidade sob a ótica do empreendedor, os quais serviram de base para esta investigação.

A. Renda Líquida (RL): indicador que representa o resíduo que remunera o empreendedor pelo risco assumido na atividade produtiva. Ela é calculada após a subtração de todos os custos da receita total (Equação 1).

$$RL = RT - CT \qquad (1)$$

Em que: RL = Renda Líquida, em R$;
RT = Receita Total, em R$;
CT = Custo Total, em R$.

A RL é uma medida de estabilidade e sobrevivência do negócio a longo prazo: RL > 0 indica que a atividade é estável, remunera todos os fatores de produção e possui possibilidade de expansão; RL =< 0 indica que a atividade não é sustentável no longo prazo, levando à descapitalização do produtor, embora possa se manter temporariamente se cobrir os custos operacionais.

B. Ponto de Nivelamento (PN): também conhecido como ponto de equilíbrio, corresponde à quantidade de produção necessária para que o valor das vendas se iguale aos custos totais. Nesse ponto, não há lucro nem prejuízo, a RL é igual a zero (Equação 2).

$$PN = CT \div PP \qquad (2)$$

Em que: PN = Ponto de Nivelamento;
CT = Custo Total, em R$.
PP = Preço do Produto, em R$.

Este indicador define a produção mínima para garantir a estabilidade do empreendimento a longo prazo. Produzir abaixo desse nível resulta em Renda Líquida negativa.

C. Produtividade Total dos Fatores (PTF): mede a eficiência do sistema de produção através da relação entre o valor gerado e o valor gasto (Equação 3).

$$PN = CT \div PP \qquad (3)$$

Em que: PTF = Produtividade Total dos Fatores;
RT = Receita Total, em R$;
CT = Custo Total, em R$.

Para o sistema ser sustentável, a PTF deve ser no mínimo igual a 1. Quanto maior for este índice, maior será a eficiência e a rentabilidade do empreendimento.

D. Taxa de Retorno (TR): indica a proporção de renda líquida gerada para cada unidade monetária de custo na atividade. Ela serve como um indicativo de viabilidade a longo prazo (Equação 4).

$$TR = (RL \div CT - 1) \times 100 \text{ ou } TR = (PTF - 1) \times 100 \qquad (4)$$

Em que: TR = Taxa de Retorno, em % por safra;
RL = Renda Líquida, em R$;
CT = Custo Total, em R$;
PTF = Produtividade Total dos Fatores.

É utilizada para comparar o desempenho de diferentes tecnologias ou sistemas; se uma tecnologia apresenta uma taxa menor que as alternativas, recomenda-se rever sua indicação.

4. Discussão dos Resultados

A análise comparativa entre os dezesseis sistemas produtivos revela que o hiato de produtividade é um dos principais desafios para a competitividade imediata da AR. Em cinco dos oito pares de talhões monitorados, a agricultura conservacionista (AC) apresentou desempenho superior, corroborando as perspectivas de Khangura et al. (2023) e Constantin et al. (2022), que indicam que a transição para sistemas ecologicamente amigáveis, como AR, pode resultar em menores rendimentos nos ciclos iniciais, período em que a biologia do solo ainda está em fase de restauração. Essa variação produtiva é particularmente sensível ao contexto climático, uma vez que práticas conservacionistas tendem a oferecer vantagens mais nítidas em regiões áridas devido à retenção de umidade, enquanto em áreas mais úmidas o impacto inicial no rendimento pode ser neutro ou negativo (Khangura et al., 2023). Para ilustrar a dinâmica produtiva entre os manejos, a figura 1 consolida os resultados de produtividade dos pares de talhões monitorados nas safras 2022/23 e 2023/24.

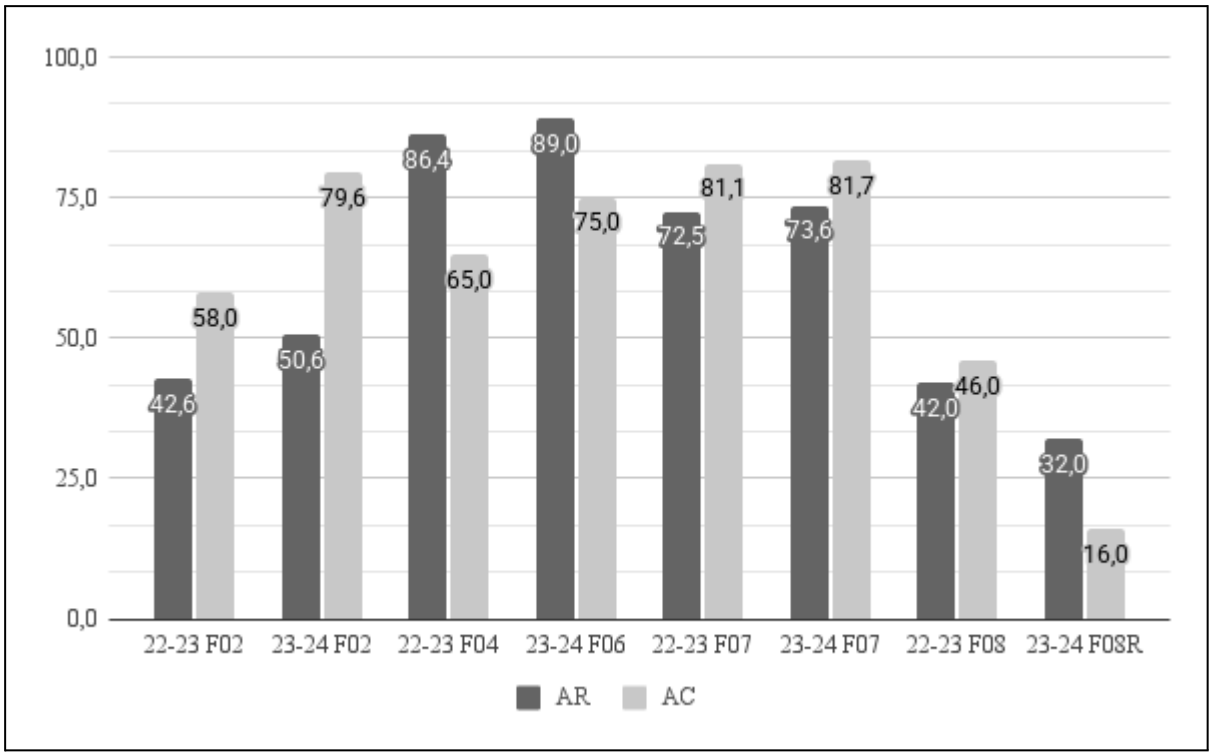

Figura 1 - Comparativo de produtividade de soja (sc ha-1) entre os sistemas de agricultura regenerativa (AR) e agricultura conservacionista (AC) nos oito pares de talhões monitorados nas safras 2022/23 e 2023/24.

Ao analisar a figura 1, nota-se a predominância da AC no atingimento de maiores produtividades na maioria dos cenários, com produtividades superiores e consistentes nas Fazendas 02 e 07. Contudo, o gráfico também evidencia exceções de alta performance da AR, que não apenas superou o AC, mas atingiu picos expressivos de 86,4 e 89,0 sacas por hectare nas Fazendas 04 e 06, respectivamente. Além disso, destaca-se a marcante diferença de produtividade na Fazenda 08 durante o ciclo de estresse climático da safra 2023/24, onde a produtividade de AR, de 32,0 sc ha^{-1}, representa o dobro da produtividade obtida na AC, de 16,0 sc ha^{-1}.

A superioridade financeira do AC na maioria das unidades estudadas, notadamente nas Fazendas 02 e 07, é explicada pela eficiência da economia de escala. Conforme a metodologia de Guiducci et al. (2012), a viabilidade está atrelada à capacidade do sistema em gerar receita para cobrir o custo total e remunerar o capital. No modelo conservacionista, o alcance de produtividades elevadas, como as 58,0 e 79,6 sacas ha^{-1} na Fazenda 2 e as 81,1 e 81,7 sacas ha^{-1} na Fazenda 8, permite a diluição dos custos fixos por unidade produzida, dentre eles o arrendamento, resultando em taxas de retorno mais atrativas. A figura 2 consolida

graficamente as taxas de retorno alcançadas em cada um dos talhões pareados, refletindo o ganho ou a perda percentual sobre os custos totais.

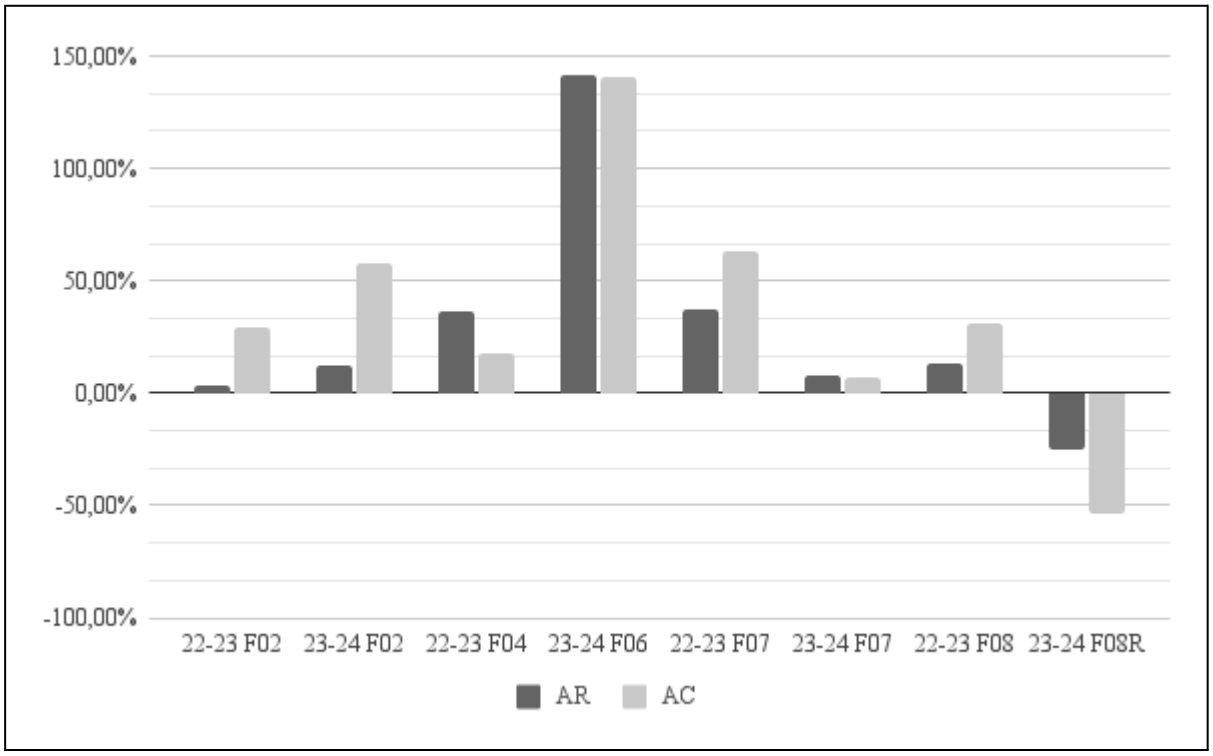

Figura 2 - Comparativo de Taxa de Retorno (TR), em % por safra, entre os sistemas de agricultura regenerativa (AR) e agricultura conservacionista (AC) nos oito pares de talhões monitorados nas safras 2022/23 e 2023/24.

A figura 2 evidencia a relevância da alta produtividade na geração de retornos financeiros, com destaque para as Fazendas 02 e 07. A visualização gráfica evidencia ainda os cenários nos quais a AR se mostra competitiva ou protetiva, com destaque para a Fazenda 04, e os patamares da Fazenda 06, onde ambos os sistemas rompem a marca de 140% de retorno devido à ausência de custos com adubação mineral. Além disso, a safra 2023/24 da Fazenda 08 ilustra a resiliência da AR comparado à AC, amortecendo a perda com menor taxa negativa durante o estresse climático.

Na Fazenda 02, essa dinâmica resultou em superioridade na rentabilidade consolidada das duas safras analisadas, TR de 41,9% por safra na AC vs. 7,2% na AR, fator decorrente da maior eficiência em diluir os custos por meio de um teto produtivo 47,6% superior. Comportamento análogo foi observado na Fazenda 07, onde a maior produtividade do AC resultou em uma taxa de retorno de 30,4% frente a 21,2% da AR. A TR é definida como a

renda líquida dividida pelo custo total (Guiducci et al., 2012). Se um sistema gera um volume de produção significativamente maior sem um aumento proporcional nos custos, a RL sobe, elevando consigo a TR.

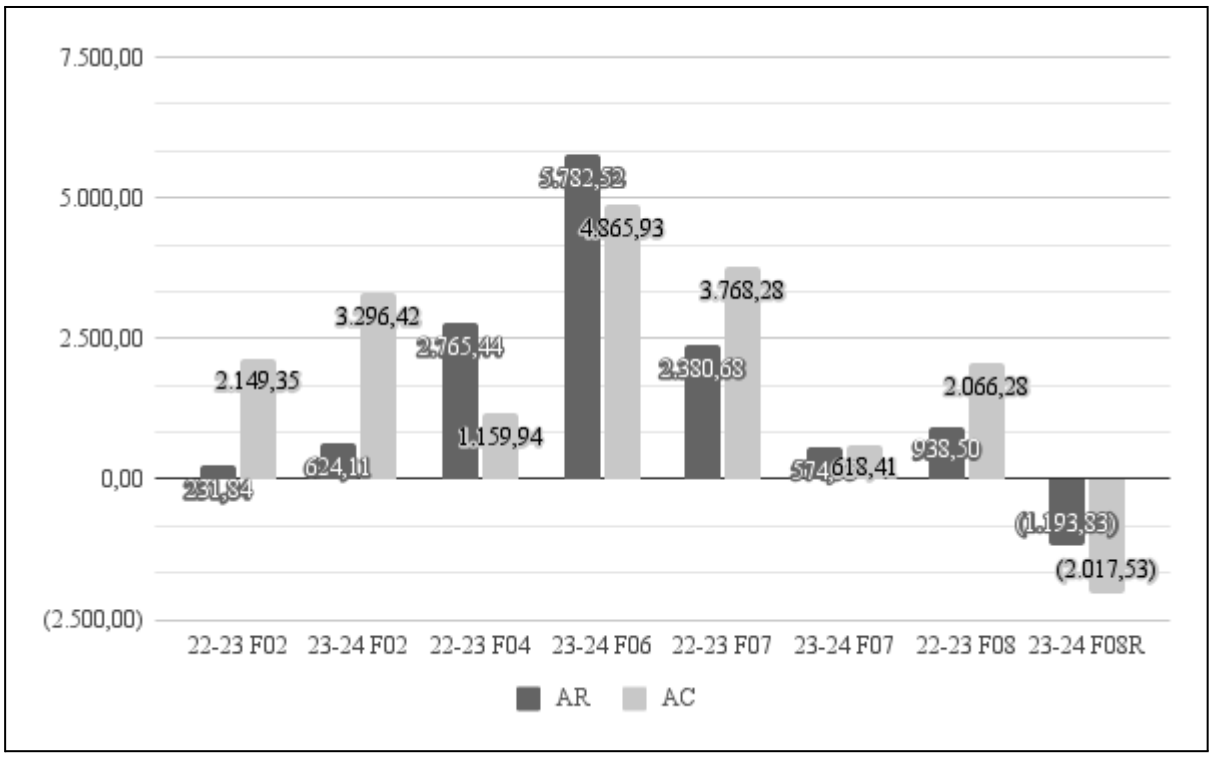

Figura 3 - Comparativo de Renda Líquida (RL), em R$ ha-1, entre os sistemas de agricultura regenerativa (AR) e agricultura conservacionista (AC) nos oito pares de talhões monitorados nas safras 2022/23 e 2023/24.

Inversamente, a AR demonstrou sua competitividade em cenários de alta eficiência produtiva ou estresse ambiental. Na Fazenda 04, a AR superou o AC em todos os indicadores, com uma TR de 36,4% por safra, impulsionada por uma produtividade 32,9% superior. Conforme Guiducci et al. (2012), quando um sistema atinge um teto produtivo superior, ele consegue diluir os custos fixos e operacionais por uma quantidade maior de produto final. A figura 3 apresenta o comparativo de Renda Líquida (RL) gerada por hectare em todos os pares de talhões monitorados.

Nota-se na figura 3 a capacidade de AC em maximizar lucros absolutos em condições favoráveis de alta produtividade. Por outro lado, evidencia-se a competitividade da AR nas Fazendas 04 e 06, onde a AR não apenas superou o sistema AC, mas atingiu os maiores patamares absolutos de renda de todo o estudo, R$ 2.765,44 ha^{-1} e R$ 5.782,52 ha^{-1},

respectivamente. Destaca-se ainda o impacto da quebra de safra na safra 2023/24 da Fazenda 08 onde, em um cenário de déficit, a descapitalização de AC foi consideravelmente maior do que AR.

Logo, na adversidade que a resiliência do sistema regenerativo se tornou evidente. Na fazenda 08, durante a safra 2023/24 marcada por uma quebra severa, a AR mitigou o prejuízo, de (R$ 1.193,83) ha-1 em AR contra (R$ 2.017,53) ha-1 na AC, sustentada por uma produtividade que foi o dobro da registrada na AC. Consequentemente, a taxa de retorno da AR (25,2%) foi consideravelmente superior à do AC (53,2%). Embora os indicadores sugiram uma maior resiliência produtiva da AR frente a adversidades, a análise de um ciclo isolado impõe cautela, sendo necessários estudos de séries temporais mais longas para a confirmação estatística desse atributo. Quando analisada a produção de cada talhão nas duas safras conjuntamente, o resultado é uma taxa de retorno de (2,2%) na AR e 0,5% no AC.

O caso da Fazenda 06 ilustra ainda a sensibilidade da rentabilidade à matriz de insumos. A ausência de adubação mineral, principal componente de custo na soja (Hirakuri; Lazzarotto, 2014), elevou as TRs de ambos os sistemas a patamares equivalentes, de aproximadamente 141%, independentemente da RL superior da AR, de R$ 5.782,52 contra R$ 4.865,93 da AC. A figura 4 ilustra a Produtividade Total dos Fatores (PTF) obtida em cada talhão, cujo índice mínimo de viabilidade é 1,00.

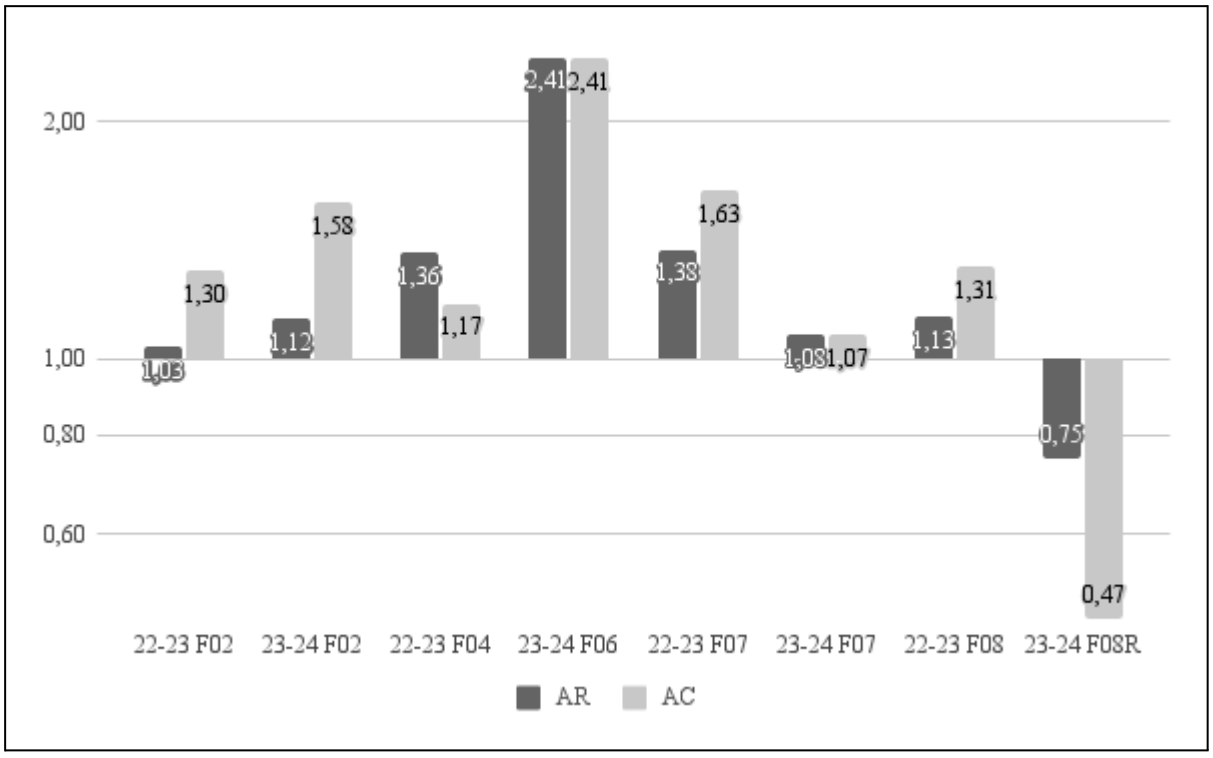

Figura 4 - Comparativo de Produtividade Total dos Fatores (PTF) entre os sistemas de agricultura regenerativa (AR) e agricultura conservacionista (AC) nos oito pares de talhões monitorados nas safras 2022/23 e 2023/24.

A observação da figura 4 confirma que, na maioria dos cenários avaliados, ambos os sistemas operaram acima da linha de viabilidade econômica (índice superior a 1,00), demonstrando viabilidade econômica. O gráfico destaca os índices da Fazenda 06, com PTF de 2,41 para ambos os sistemas, reforçando o impacto positivo da supressão de custos com fertilizantes na eficiência do negócio. Em contrapartida, as barras correspondentes à safra 2023/24 da Fazenda 08 evidenciam o único momento em que a eficiência operou em déficit, ou seja, com PTF abaixo de 1,00, ocasião em que, sob condições extremas de estresse climático, a AR demonstra uma conversão de recursos significativamente mais eficiente do que o AC.

Em síntese, os resultados indicam que a produção de soja sob agricultura regenerativa no Cerrado é economicamente viável, mas ainda enfrenta barreiras de competitividade direta frente ao modelo tradicional. Para consolidar a AR como alternativa viável durante o crítico período de transição, a adoção de mecanismos como Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) e políticas públicas de incentivo é fundamental. Como concluem Constantin et al. (2022), embora sistemas regenerativos sejam superiores em indicadores ambientais, sua limitada competitividade na geração de renda imediata demanda suporte institucional para assegurar a adoção em larga escala.

5. Considerações finais

Os resultados demonstram que tanto a agricultura regenerativa (AR) quanto a conservacionista (AC) são modelos economicamente viáveis para a produção de soja no Cerrado. A análise da Produtividade Total dos Fatores (PTF) situou-se majoritariamente acima da unidade (PTF > 1) em ambos os casos, validando a eficiência dos sistemas na conversão de custos em receita total.

O AC ainda detém uma competitividade superior e sua principal vantagem reside na maximização do lucro por meio de produtividades mais elevadas, o que permite uma diluição mais eficaz dos custos totais por saca produzida. Nas fazendas 02 e 07, a AC apresentou taxas de retorno significativamente superiores à AR devido a essa eficiência de escala.

Os dados demonstram que, embora a AR já se configure como um modelo economicamente viável, ela ainda não é competitiva frente ao AC no que tange à maximização de lucros. Diante deste cenário, o estudo fornece subsídios práticos para que a transição não dependa exclusivamente da eficiência produtiva do produtor, destacando a necessidade de políticas públicas que fomentem o manejo regenerativo. Além disso, a competitividade da AR pode ser consolidada mediante a criação de mecanismos de mercado que garantam o recebimento de um ágio ou pagamentos por serviços ambientais (PSA), remunerando adequadamente o produtor pelo serviço sistêmico de conservação do solo e restauração da biodiversidade, transformando externalidades ambientais positivas em ativos financeiros reais.

Os resultados apresentados referem-se a um horizonte temporal de apenas duas safras agrícolas (2022/23 e 2023/24) e a análise de ciclos isolados impõe cautela na interpretação definitiva dos dados. A literatura científica já sinaliza que persistem lacunas críticas sobre a lucratividade a longo prazo e o retorno real da AR durante o período de transição. Portanto, é importante que este acompanhamento seja mantido de forma longitudinal, permitindo a realização de estudos baseados em séries temporais mais extensas. Somente o monitoramento contínuo poderá fornecer a confirmação estatística necessária para validar os atributos de sustentabilidade e competitividade econômica da AR no Cerrado, consolidando-a como uma alternativa robusta ao AC.

Referências

BARROWCLOUGH, M. *et al.* Conservation agriculture on steep slopes in the Andes: Promise and obstacles. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 71, n. 2, p. 91–102, 1 mar. 2016.

CONSTANTIN, Marius *et al.* A review on the competitiveness and performance of ecological, organic and regenerative agricultural systems. **Proceedings of the International Conference on Business Excellence**, v. 16, n. 1, p. 304–316, 1 ago. 2022.

FENSTER, T. L. D.; OIKAWA, P. Y.; LUNDGREN, J. G. Regenerative Almond Production Systems Improve Soil Health, Biodiversity, and Profit. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 664359, 10 ago. 2021.

GERHARDT, Tatiana; SILVEIRA, Denise. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOSNELL, H.; GILL, N.; VOYER, M. Transformational adaptation on the farm: Processes of change and persistence in transitions to 'climate-smart' regenerative agriculture. **Global**

Environmental Change, v. 59, 1 nov. 2019. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101965.

GUIDUCCI, R. do C. N., ALVES E. R. de A., LIMA FILHO J. R. de, MOTA M.M.. Aspectos Metodológicos Da Análise De Viabilidade Econômica De Sistemas De Produção. In: **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários**: metodologia e estudos de caso. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro [recurso eletrônico] Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p.: il. **Documentos/Embrapa Soja**, ISSN, p. 2176-2937.

JAT, R. K. *et al.* Seven years of conservation agriculture in a rice–wheat rotation of Eastern Gangetic Plains of South Asia: Yield trends and economic profitability. **Field Crops Research**, v. 164, p. 199–210, ago. 2014.

KHANGURA, R. *et al.* Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 2338, 27 jan. 2023.

LACANNE, C. E.; LUNDGREN, J. G. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. **PeerJ**, v. 6, p. e4428, 26 fev. 2018.

LAL, R. Regenerative agriculture for food and climate. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 5, p. 123A-124A, 2020.

MCLENNON, E. *et al.* Regenerative agriculture and integrative permaculture for sustainable and technology driven global food production and security. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 6, p. 4541–4559, nov. 2021.

MUHIE, S. H. Novel approaches and practices to sustainable agriculture. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, p. 100446, dez. 2022.

NAAB, J. B. *et al.* Conservation Agriculture Improves Soil Quality, Crop Yield, and Incomes of Smallholder Farmers in North Western Ghana. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 996, 21 jun. 2017.

NGWIRA, A. R.; THIERFELDER, C.; LAMBERT, D. M. Conservation agriculture systems for Malawian smallholder farmers: long-term effects on crop productivity, profitability and soil quality. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, n. 4, p. 350–363, dez. 2013.

OLIVEIRA, G. M. et al. Blind spots in the EU's Regulation on Deforestation-Free Products. **Nature Ecology & Evolution**, v. 8, n. 8, p. 1382–1383, 3 Jul. 2024.

PREISSEL, S. *et al.* Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. **Field Crops Research**, v. 175, p. 64–79, abr. 2015.

RHODES, C. J. Feeding and Healing the World: Through Regenerative Agriculture and Permaculture. **Science Progress**, v. 95, n. 4, p. 345–446, dez. 2012.

SAPKOTA, T. B. *et al.* Precision nutrient management in conservation agriculture based wheat production of Northwest India: Profitability, nutrient use efficiency and environmental footprint. **Field Crops Research**, v. 155, p. 233–244, jan. 2014.

SCHOONOVER, J. E.; CRIM, J. F.. An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed management. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 154, n. 1, p. 21-47, 2015. https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03186.x.

SIEMENS, J. C.; OSCHWALD, W. R. Corn-Soybean Tillage Systems: Erosion Control, Effects on Crop Production, Costs. **Transactions of the ASAE**, v. 21, n. 2, p. 0293–0302, 1978.

VASTOLA, A. *et al.* A comparative multidimensional evaluation of conservation agriculture systems: A case study from a Mediterranean area of Southern Italy. **Land Use Policy**, v. 68, p. 326–333, nov. 2017.

VELASCO-MUÑOZ, J. F. *et al.* Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 170, p. 105618, jul. 2021.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio. A produção de soja e sua importância na economia brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. v33, n. e01962, 2024.

WALKER, D. J.; YOUNG, D. L. The Effect of Technical Progress on Erosion Damage and Economic Incentives for Soil Conservation. **Land Economics**, v. 62, n. 1, p. 83, fev. 1986.

ZENTNER, R. P. *et al.* Economics of Crop Diversification and Soil Tillage Opportunities in the Canadian Prairies. **Agronomy Journal**, v. 94, 2002.