



AVALIAÇÃO ECONÔMICA E DE RISCO DE SISTEMAS DE SUCESSÃO E ROTAÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

ECONOMIC AND RISK EVALUATION OF CROP SUCCESSION AND ROTATIONS IN NO-TILLAGE SYSTEMS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Fernando Pires Vieira¹, Dr. Alcido Elenor Wander²

¹ Universidade Federal de Goiás (UFG); ² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

¹fpv.rioverde@gmail.com; ²alcido.wander@embrapa.br

Grupo de Trabalho (GT): GT8. Conhecimentos, tecnologias e inovações no rural

Resumo

Em muitos países, a produção agrícola intensiva esgotou os solos, a ponto de comprometer a produção futura nessas áreas. Diante desse fato, os sistemas de rotação de culturas como um dos pilares da agricultura conservacionista (AC) se apresentam como uma alternativa que pode evitar tais perdas enquanto regenera terras degradadas. Verificar se as práticas de AC, além de ganhos agrônômicos, podem gerar ganhos financeiros para os produtores, é de grande relevância para se alcançar uma produção agrícola sustentável. Assim, o objetivo deste artigo é verificar o panorama atual da literatura científica, identificando os trabalhos sobre sistemas de rotação de culturas publicados em base de dados nacional e internacional entre 2018 e 2023, que abordam aspectos de análise econômica e de risco desses sistemas. Foram analisados artigos publicados nas bases de dados *Scientific Electronic Library Online*, *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science*, Periódicos CAPES e Base de Dados da Pesquisa Agropecuária (BDPA). Foram identificados 25 artigos relacionados ao tema e à intenção de pesquisa. Destes, 76% apresentaram estudos apenas sobre análises econômicas enquanto 24% também agregaram análise de risco. Em relação aos locais da realização dos estudos, 32% foram pesquisas realizadas no Brasil e 68% em outros países. O ano de 2019 foi o que apresentou mais estudos. A luz do referencial teórico apresentado, conclui-se que as práticas de AC, como os sistemas de rotação de culturas, não só apresentam benefícios agrônômicos, mas também econômicos e podem ser estratégias que podem reduzir os vários riscos inerentes à atividade agrícola.

Palavras-chave: Agricultura Conservacionista; Sistema de Rotação de Culturas; Análise Econômica; Análise de Risco.

Abstract

In many countries, intensive agricultural production has depleted soils to the point of compromising future production in these areas. Given this fact, crop rotation systems as one of the pillars of conservation agriculture (CA) are presented as an alternative to avoid such losses while regenerating degraded lands. Verifying whether CA practices, in addition to agronomic gains, can generate economic gains for producers is of great relevance to achieving sustainable agricultural production. Thus, this article aims to verify the current panorama of the scientific literature, identifying the papers on crop rotation systems published in national and international databases between 2018 and 2023, which address aspects of economic and risk analysis of these systems. Papers published in *Scientific Electronic Library Online*, *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science*, *Periodicals CAPES* and *Database of Agricultural Research (BDPA)* were analyzed. 25 papers related to the theme and research intent were identified. Of this, 76% of the studies focus on economic analysis only while 24% also added risk analysis. Regarding the places where the studies were done, 32% were in Brazil and 68% in other countries. The year 2019 was the one with the most studies. In light of the theoretical framework presented, it is concluded that CA practices, such as crop rotation systems, not only have agronomic benefits, but also economic ones and can be strategies that can reduce the various risks inherent in agricultural activity.

Key words: Conservation Agriculture; Crop Rotation System; Economic and Risk Analysis.

1. Introdução

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), nos últimos 40 anos o mundo perdeu um terço de suas terras aráveis, cerca de 430 milhões de hectares. Em muitos países, a produção agrícola intensiva esgotou os solos, a ponto



de comprometer a produção futura nessas áreas. Diante desses fatos, a agricultura conservacionista (AC) se apresenta como um sistema agrícola que pode evitar tais perdas enquanto regenera terras degradadas (FAO, 2022).

A AC possui como pilares três princípios interligados como perturbação mecânica mínima do solo; cobertura orgânica permanente da superfície com resíduos de culturas e/ou culturas de cobertura e diversificação de espécies por meio de sequências e associações variadas de cultivos envolvendo pelo menos três espécies diferentes. Seguindo essas premissas, haverá melhora da biodiversidade e nos processos biológicos naturais acima e abaixo da superfície do solo, contribuindo para o aumento da eficiência do uso de água, de nutrientes e para uma produção agrícola mais eficiente e sustentável (FAO, 2022).

O Sistema de Plantio Direto (SPD), como uma prática da AC, desde sua implantação no Brasil vem trazendo inúmeras vantagens para as questões de conservação de solo, permitindo melhores condições de cultivo para culturas de interesse econômico, elevando assim a produtividade e a lucratividade. Com esses benefícios, as áreas de implantação vêm sendo ampliadas e associadas a outras práticas conservacionistas (FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019).

Sendo um dos pilares do SPD, Debiasi et al. (2020) esclarecem dúvidas conceituais entre rotação e sucessão de culturas. Segundo os autores, a rotação de culturas é definida como a alternância ordenada de diferentes culturas, em determinado espaço de tempo (ciclo), na mesma área e na mesma estação do ano. Já a sucessão de culturas consiste no ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, cada uma cultivada em uma estação do ano.

Garbelini et al. (2022) explicam que as rotações de culturas diversificadas são economicamente competitivas com sistemas especializados de cultivo duplo, com vantagem comprovada de conservação ambiental (ar, água e solo). Quando bem planejada, é uma estratégia importante para reduzir a erosão do solo, consumo de pesticidas e emissões de gases de efeito estufa, além de aumentar a eficiência do uso de água e fertilizantes.

Sob o ponto de vista econômico, Conte et al. (2020) argumentam que a tomada de decisão a respeito da substituição de uma cultura por outra em parte da área da propriedade deve considerar não somente a comparação direta da rentabilidade de cada uma, mas também o potencial de aumento da produtividade e de redução dos custos no médio-longo prazo em ambas as culturas, proporcionados pela maior diversificação de espécies vegetais.

Gollo, Vian e Diel (2017) acrescentam que a análise econômica e financeira pode auxiliar a verificar se determinada atividade trará retorno de investimento e obtenção de lucro, além disso, se for executada de forma planejada poderá garantir a continuidade dos negócios. Além da análise de viabilidade econômica, outras complementares são importantes no processo decisório da gestão da propriedade rural, como a análise de risco (SANTOS et al., 2019a).

Verificar se as práticas de AC, além de ganhos agronômicos, podem gerar ganhos financeiros para os produtores, é de grande relevância para se alcançar uma produção agrícola sustentável. Com os resultados, os produtores rurais terão informações científicas que poderão ser levadas em consideração no processo de tomada de decisão de converter, ou não, seu sistema de produção convencional para o diversificado em consonância com a AC.

Diante desse contexto, o presente estudo propõe o seguinte problema de pesquisa: Os sistemas de sucessão e rotação de culturas podem ser mais rentáveis economicamente e oferecer menores riscos econômicos ao produtor rural quando comparados ao sistema produtivo convencional?

Assim, o objetivo deste artigo é verificar o panorama atual da literatura científica, identificando os trabalhos sobre sistemas de rotação de culturas publicados em base de dados



nacional e internacional entre 2018 e 2023, que abordam aspectos de análise econômica e de risco desses sistemas.

Este artigo está estruturado em duas seções principais, além desta introdução e das considerações finais. A primeira seção principal descreve a metodologia adotada para o alcance do objetivo proposto. Em seguida apresentam-se os resultados e suas devidas discussões. Por fim, apresentam-se as considerações finais e as referências.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa de natureza aplicada de objetivo exploratório e descritivo com a utilização da metodologia de revisão sistemática de literatura (RSL), por meio de bases de dados nacionais e internacionais. Os documentos encontrados foram avaliados conforme as análises de caráter econômico e de risco realizadas.

A RSL segundo Galvão e Ricarte (2019), é uma modalidade de pesquisa que segue protocolos específicos, e que busca entender e dar alguma coerência a um grande *corpus* documental, especialmente, verificando o que funciona e o que não funciona num dado contexto. A RSL está focada no seu caráter de reprodutibilidade por outros pesquisadores, apresentando de forma explícita as bases de dados bibliográficos que foram consultadas, as estratégias de busca empregadas em cada base, o processo de seleção dos artigos científicos, os critérios de inclusão e exclusão dos artigos e o processo de análise de cada artigo.

O procedimento técnico foi realizado de acordo com o protocolo de Cronin et al. (2008), o qual apresenta cinco etapas: (i) formulação da questão de pesquisa; (ii) estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão; (iii) seleção e acesso à literatura; (iv) avaliação da qualidade da literatura incluída na revisão; e (v) análise, síntese e disseminação dos resultados. As etapas do protocolo da revisão sistemática de literatura para esse artigo são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Etapas do protocolo de RSL nacional e internacional desenvolvidas para o artigo de análise de viabilidade econômica e de risco nos sistemas de sucessão e rotação de culturas.

ETAPAS DO PROTOCOLO (CRONIN et al., 2008)	DESENVOLVIMENTO DO ARTIGO
i) Formulação da questão de pesquisa	Quais os trabalhos já publicados nacional e internacionalmente sobre análise econômica e de risco nos sistemas de sucessão e rotação de culturas?
ii) Estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão	Os critérios de inclusão e exclusão utilizados nas buscas foram: (a) Título que contenha as palavras em inglês (<i>TI=crop rotation AND economic analysis OR feasibility analysis OR risk analysis</i>), espanhol (<i>TI=rotación de cultivos AND análisis económica OR análisis de riesgo</i>) e português (<i>TI= rotação de culturas AND análise econômica OR análise de risco</i>). (b) Período de publicação: 2018 a 2023; (c) Base de dados nacional e internacional: <i>Scientific Electronic Library Online, Science Direct, Scopus, Web of Science</i> , Periódicos CAPES e Base de Dados da Pesquisa Agropecuária (BDPA).
iii) Seleção e acesso à literatura	Busca avançada nas bases de dados selecionadas de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos e filtragem através dos títulos e resumos dos trabalhos.
iv) Avaliação da qualidade da literatura incluída na revisão	Leitura prévia dos trabalhos selecionados na etapa anterior para verificar se realmente traziam informações que se enquadram dentro do conceito análise econômica e de risco de sistemas de sucessão e rotação de culturas.



**v) Análise, síntese e
disseminação dos resultados**

Os textos selecionados na quarta etapa foram analisados rigorosamente e elaborados tabelas, quadros e fluxos para melhor visualização e análise dos resultados de acordo com os temas da proposta de pesquisa.

A Figura 1 apresenta os documentos encontrados nas buscas que foram realizadas em janeiro de 2023 e de artigos selecionados, por meio da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão e da filtragem por título, palavras-chave e resumo para a exclusão dos trabalhos que não estão especificamente relacionados à estudos de análise econômica e de risco em sistemas de rotação de culturas. A organização dos dados dos artigos e toda a análise foram realizadas em planilhas do Microsoft Excel® e no editor de texto Microsoft Word®.

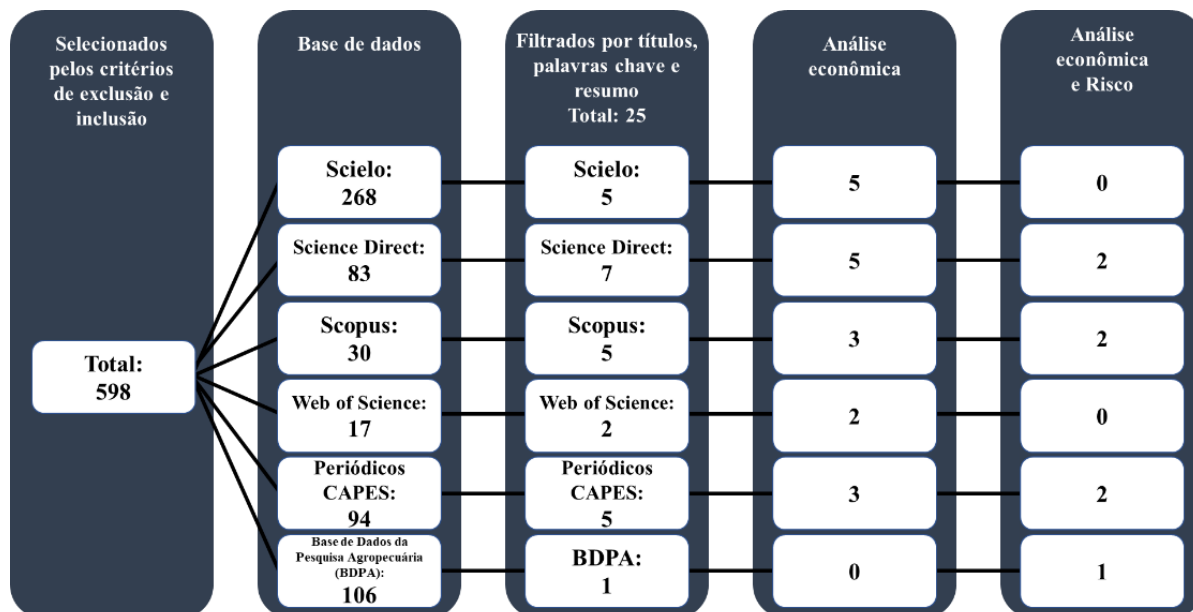


Figura 1. Número de documentos selecionados com o processo de filtragem da RSL.
Fonte: Resultados da pesquisa.

De toda literatura encontrada nas bases de busca de acordo com os critérios de inclusão e exclusão adotados, quando realizada a filtragem por título, palavras-chave e resumos, somente 25 artigos eram relacionados ao tema e à intenção de pesquisa. Dessa forma, esses 25 artigos selecionados são apresentados na análise de dados e discussão dos resultados.

3. Resultados e Discussão

Na amostra de textos selecionados para análise, 76% dos trabalhos apresentaram estudos sobre análises econômicas de sistemas de rotação de culturas, e apenas 24% também apresentaram análise de risco em conjunto com a econômica. Com relação aos anos de publicação, 2019 foi o ano que apresentou mais estudos sendo 3 sobre apenas análise econômica e 4 também agregando a análise de risco (Figura 2).

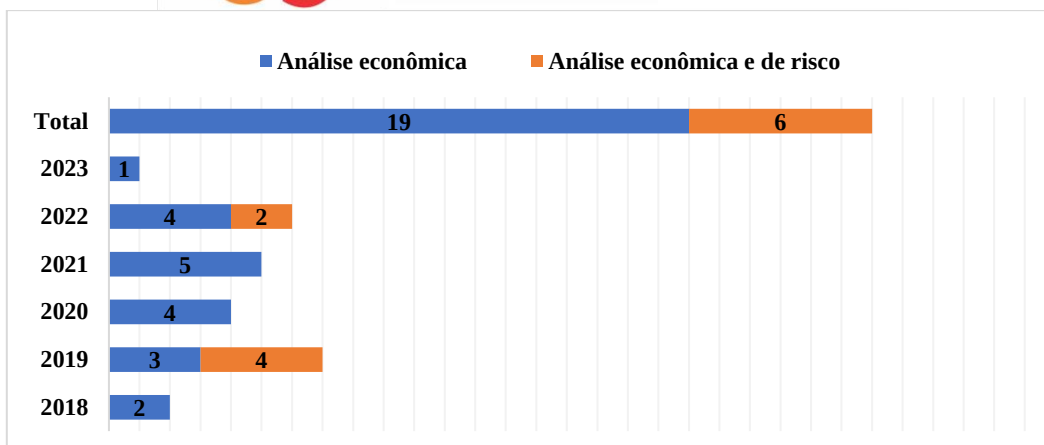


Figura 2. Artigos selecionados classificados por ano de publicação e temas do estudo.
Fonte: Resultados da pesquisa.

Em relação aos locais da realização dos estudos, 32% representam pesquisas executadas no Brasil e 68% em outros países como Canadá, Estados Unidos, Índia, Marrocos, Polônia, Alemanha, Bangladesh, China, Costa Rica, Gana e Suíça (Figura 3). Isso demonstra um interesse do setor produtivo brasileiro por informações relevantes que possam subsidiar o processo de tomada de decisão na adoção de prática da AC como a rotação de culturas.

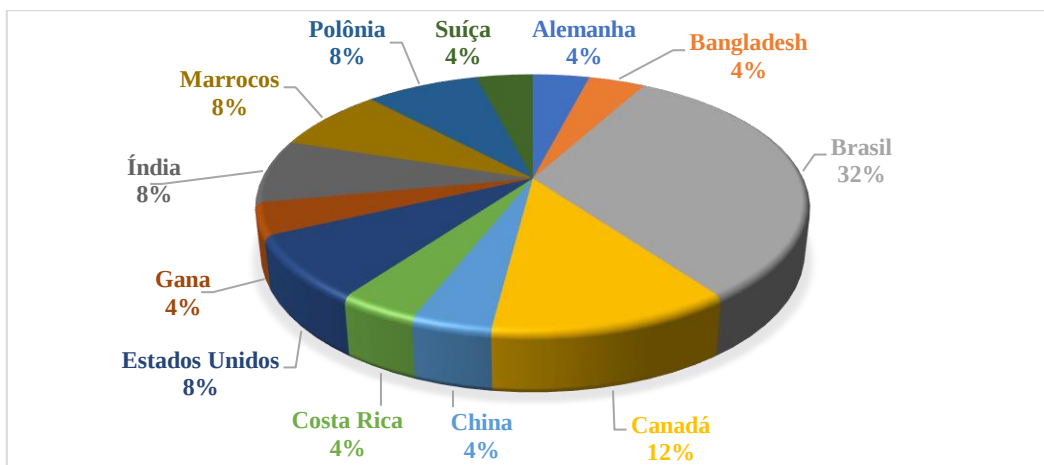


Figura 3. Classificação dos artigos por países.
Fonte: Resultados da pesquisa.

Na tabela 2 são apresentados os artigos encontrados que tratam de trabalhos que realizaram somente análises econômicas relacionadas a sistemas de rotação de culturas.

Tabela 2. Artigos que abordam análises econômicas

Título	<i>Can productivity and profitability be enhanced in intensively managed cereal systems while reducing the environmental footprint of production? Assessing sustainable intensification options in the breadbasket of India</i>
Autor/Ano	Kumar et al. (2018)
Periódico	Agriculture, Ecosystems & Environment
País	Índia
Assunto	Identificação de uma nova geração de sistemas de cereais de alto rendimento e com eficiência de recursos que se baseiam nos princípios da AC e da agricultura de precisão.



Título	<i>Profitability of no-till grain production systems</i>
Autor/Ano	Fuentes-Llanillo et al. (2018)
Periódico	Semina: Ciências Agrárias
País	Brasil
Assunto	Verificação de rentabilidade em sistemas de produção de grãos em plantio direto que seguem os preceitos da AC.
Título	<i>Análise econômica de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas</i>
Autor/Ano	Santos et al. (2019b)
Periódico	Ambiência
País	Brasil
Assunto	Avaliação de viabilidade econômica utilizando a receita líquida, de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas produtoras de grãos, no inverno e no verão, em um período de aproximadamente vinte anos.
Título	<i>Legume-based rotations have clear economic advantages over cereal monocropping in dry areas</i>
Autor/Ano	Yigezu et al. (2019)
Periódico	Agronomy for Sustainable Development
País	Marrocos
Assunto	Análise dos efeitos da adoção individual e simultânea de uma rotação feijão-fava-trigo e o uso de variedades melhoradas de feijão-fava na produtividade, na renda agrícola e na segurança alimentar e nutricional.
Título	<i>Yield and Economic Results of Spring Barley Grown in Crop Rotation and in Monoculture</i>
Autor/Ano	Woźniak et al. (2019)
Periódico	Polish Journal of Environmental Studies
País	Polônia
Assunto	Avaliação da produtividade e resultados econômicos da cevada de primavera semeada em rotação de culturas e monocultivo sob diferentes sistemas de preparo do solo.
Título	<i>Economic profitability of crop rotation systems in the Caiuá sandstone area</i>
Autor/Ano	Volsi et al. (2020)
Periódico	Ciência Rural
País	Brasil
Assunto	Verificação de rentabilidade de sistemas de rotação de culturas em plantio direto em uma área de arenito Caiuá na região noroeste do Paraná.
Título	<i>Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros</i>
Autor/Ano	Fortini, Braga e Freitas (2020)
Periódico	Revista de Economia e Sociologia Rural
País	Brasil
Assunto	Análise dos efeitos da adoção de diferentes práticas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários no Brasil.
Título	<i>Cost and benefit analysis of adopting climate adaptation practices among smallholders: The case of five selected practices in Ghana</i>
Autor/Ano	Williams et al. (2020)



Periódico	Climate Services
País	Gana
Assunto	Avaliação da eficácia econômica de pequenos produtores horticultores em dois municípios de Gana, usando o modelo análise de custo-benefício das cinco estratégias de adaptação climática.
Título	<i>Long-Term Productive, Competitive, and Economic Aspects of Spring Cereal Mixtures in Integrated and Organic Crop Rotations</i>
Autor/Ano	Klima et al. (2020)
Periódico	Agriculture
País	Polônia
Assunto	Análise do rendimento, competitividade, índice de área foliar e indicadores econômicos dos cereais de primavera em sementeiras puras ou mistas em rotações de culturas ao longo de nove anos na zona montanhosa do sul da Polônia.
Título	<i>Production and profitability of diversified agricultural systems</i>
Autor/Ano	Volsi et al. (2021)
Periódico	Anais da Academia Brasileira de Ciências
País	Brasil
Assunto	Verificação de desempenho econômico de sistemas de rotação de culturas mais diversificados.
Título	<i>Optimización económica para el cultivo de papa, zanahoria y cebolla en Cartago, Costa Rica</i>
Autor/Ano	Barboza-Navarro et al. (2021)
Periódico	Tecnología en Marcha
País	Costa Rica
Assunto	Otimização da rentabilidade econômica do plantio de batata, cebola e cenoura no norte de Cartago, por meio de um modelo de programação linear, para contribuir e fortalecer a geração de conhecimento na área de pesquisa agropecuária da Costa Rica.
Título	<i>The agronomic and economic viability of innovative cropping systems to reduce Fusarium head blight and related mycotoxins in wheat</i>
Autor/Ano	Drakopoulos et al. (2021)
Periódico	Agricultural Systems
País	Suíça
Assunto	Investigação da viabilidade agrônômica e econômica de dois sistemas inovadores de cultivo com o objetivo de reduzir o risco de doenças fúngicas no trigo subsequente.
Título	<i>Economic analysis of organic cropping systems under different tillage intensities and crop rotations</i>
Autor/Ano	Dayananda et al. (2021)
Periódico	Renewable Agriculture and Food Systems
País	Canadá
Assunto	Comparação do impacto de duas sequências de rotação de culturas (simplificada e diversificada) e dois níveis de intensidade de cultivo (alta e baixa) no custo de produção, retorno bruto e margem bruta de culturas quando cultivadas sob manejo orgânico em uma zona semiárida de solo marrom das pradarias canadenses.

Título	<i>Crop Rotation Enhances Agricultural Sustainability: From an Empirical Evaluation of Eco-Economic Benefits in Rice Production</i>
Autor/Ano	He et al. (2021)
Periódico	Agriculture
País	China
Assunto	Avaliação dos efeitos econômicos, sociais e ecológicos dos dados gerados de campos com diferentes sistemas de cultivo de arroz durante dois anos consecutivos, a fim de desenvolver uma estratégia de produção de arroz mais rentável, eficaz e ecológica.
Título	<i>Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems</i>
Autor/Ano	Garbelini et al. (2022)
Periódico	European Journal of Agronomy
País	Brasil
Assunto	Verificação da produtividade de grãos e a rentabilidade de sistemas de produção agrícola com diferentes níveis de diversidade vegetal no sul do Brasil.
Título	<i>Perception and level of soil and water conservation practices adoption by farmers in a watershed</i>
Autor/Ano	Melo et al. (2022)
Periódico	Revista Ciência Agronômica
País	Brasil
Assunto	Verificação da percepção e do nível de práticas conservacionistas de solo e água adotadas por agricultores com culturas anuais em uma bacia hidrográfica específica e verificar a relação entre a adoção de práticas conservacionistas e as características socioeconômicas dos agricultores.
Título	<i>Conservation agriculture improves agronomic, economic, and soil fertility indicators for a clay soil in a rainfed Mediterranean climate in Morocco</i>
Autor/Ano	Devkota, Devkota e Kumar (2022)
Periódico	Agricultural Systems
País	Marrocos
Assunto	Avaliação sistemática de indicadores agronômicos, econômicos e de fertilidade do solo sob AC e preparo convencional usando experimentação de campo e modelagem de simulação para um solo argiloso de uma região de sequeiro no ambiente mediterrâneo.
Título	<i>Enhancing Farm Income through Boundary Plantation of Poplar (Populus deltoides): An Economic Analysis</i>
Autor/Ano	Chavan et al. (2022)
Periódico	Sustainability
País	Índia
Assunto	Determinação da viabilidade econômica de plantações limítrofes de choupo (álamos) em um experimento de campo desde o plantio até a colheita.
Título	<i>Reduced tillage and crop diversification can improve productivity and profitability of rice-based rotations of the Eastern Gangetic Plains</i>
Autor/Ano	Hoque et al. (2023)
Periódico	Field Crops Research

País	Bangladesh
Assunto	Avaliação da agricultura conservacionista e cultivo alternado contra lavoura convencional, sob seis sistemas de cultivo duplo e triplo em termos de rendimento de grãos, proteína de grãos, rendimentos calóricos, uso de trabalho e margem bruta de diferentes culturas e sistemas de cultivo.

O trabalho de Kumar et al. (2018) teve como objetivo identificar opções de gestão integrada para melhorar a produtividade e a lucratividade, racionalizando o uso de recursos e reduzindo as externalidades ambientais com base nos princípios de diversificação, gestão de precisão e AC. Estabeleceu-se em 2009 um estudo de campo de longo prazo na Índia, avaliando quatro cenários com combinações de estratégias e culturas diferentes. Os retornos líquidos e a relação benefício-custo do sistema foram calculados para a análise econômica. Os resultados demonstraram que a cultura do arroz em semeadura direta parece ser uma alternativa economicamente viável ao arroz transplantado de forma convencional (solo inundado) para superar os problemas emergentes de escassez de mão-de-obra, água e aumento do custo de produção. Os resultados também indicam que o milho sob manejo baseado em AC parece ser uma alternativa adequada e lucrativa ao arroz, com reduções ainda mais significativas na quantidade de água de irrigação, uso de energia e emissões de poluentes e com maior rentabilidade em comparação com o arroz transplantado de forma convencional (solo inundado).

Já Fuentes-Llanillo et al. (2018) verificaram se os sistemas de produção de grãos em plantio direto que seguem os preceitos da AC são economicamente rentáveis. A pesquisa utilizou a metodologia de um estudo multicaso quantitativo e qualitativo focando 13 fazendas no estado do Paraná. Para cada uma das 13 fazendas, foram compilados dados técnicos e econômicos e calculados custos variáveis, receita bruta e margem bruta por hectare de área útil agrícola para o período de 1998/1999 a 2003/2004. Verificaram que as maiores margens brutas foram associadas a maior tempo de uso do sistema de plantio direto, propriedade de máquinas e equipamentos, especialização em grãos, rotação das culturas comerciais utilizadas e maiores custos variáveis. Margens brutas mais baixas foram associadas à terceirização da semeadura, cultivo em pequena escala e falta de rotação de culturas. Logo, conclui-se que os sistemas de produção de grãos em plantio direto no norte do Paraná mostraram-se economicamente rentáveis.

Santos et al. (2019b) buscaram avaliar a viabilidade econômica utilizando a receita líquida, de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas produtoras de grãos, no inverno e no verão, em um período de aproximadamente 20 anos. Os tratamentos foram constituídos por quatro sistemas de manejo de solo entre SPD, cultivo mínimo e preparo convencional com arados de disco e de aiveca, e por três sistemas de rotação de culturas envolvendo o cultivo de trigo, soja, ervilhaca, milho, aveia branca e sorgo. Os resultados apontaram que o SPD mostrou-se, por meio da receita líquida, na média de 18 safras agrícolas, mais rentável por hectare (R\$ 1.098,60), em relação aos demais manejos de solo (cultivo mínimo: R\$ 889,70; preparo convencional de solo com arado de discos: R\$ 663,60; e preparo convencional de solo com arado de aivecas: R\$ 658,40). Também foi conclusivo que a rotação de culturas, em três safras, com intervalo de dois anos foi mais eficiente economicamente por hectare do que a monocultura trigo/soja.

O estudo de Yigezu et al. (2019) buscou documentar os efeitos da adoção individual e simultânea de uma rotação com feijão-fava e trigo e o uso de variedades melhoradas de feijão-fava na produtividade, na renda agrícola e na segurança alimentar e nutricional. Foram feitas análises econômicas usando uma regressão de comutação endógena aplicada a dados de 2 anos sobre a produção de uma amostra de 1.230 famílias agrícolas do Marrocos. Os resultados



mostraram que a adoção conjunta de rotações e variedades melhoradas de feijão-fava leva à uma margem bruta média de dois anos de US\$ 537 ha⁻¹ (48%) superior à monocultura de trigo. Este foi o maior benefício econômico de todas as opções de cultivo disponíveis. Mas um resultado surpreendente do estudo foi que, ao contrário das expectativas comuns, os adotantes da rotação não usaram quantidades menores de fertilizantes nitrogenados do que os monocultivos de trigo, reduzindo assim os benefícios ecológicos das rotações feijão-fava-trigo.

O trabalho de Woźniak et al. (2019) teve como proposta avaliar a produtividade e os resultados econômicos da cevada de primavera semeada em rotação de culturas e monocultivo sob diferentes sistemas de preparo do solo. O experimento foi conduzido entre 2015 e 2017 em uma fazenda experimental na Polônia. Os tratamentos envolveram dois sistemas de produção sendo o monocultivo e a rotação de culturas com soja, ervilha, cevada de primavera e trigo de inverno. O outro fator foram os sistemas de preparo como preparo convencional, preparo reduzido e preparo com herbicida. Foram calculados a margem bruta, o rendimento da atividade, a relação de rentabilidade, o custo unitário e a relação de eficiência econômica. A pesquisa verificou que a produção de grãos de cevada de primavera foi significativamente maior na rotação de culturas do que na monocultura de cereais. Além disso, o rendimento foi significativamente maior em preparo reduzido do que em preparo convencional e com herbicidas. Já a análise econômica mostrou uma clara vantagem competitiva dos tratamentos de preparo reduzido com rotação de culturas em relação a outros. A prova foi a maior margem bruta e rendimento da atividade, e o menor custo unitário de produção.

Volsi et al. (2020) verificaram se os sistemas de rotação de culturas em plantio direto eram economicamente rentáveis em uma área de arenito Caiuá na região noroeste do Paraná. As culturas aveia preta, centeio, soja, rabanete forrageiro, sorgo, triticale, milho, crambe, canola, cártamo, tremoço, milho com braquiária, feijão comum e trigo sarraceno foram utilizadas nos quatro tratamentos avaliados. Para a análise econômica, a receita líquida da fazenda foi calculada subtraindo-se o custo operacional de cada tratamento de sua receita bruta. Apenas o sistema de rotação com maior diversificação de culturas (tremoço/milho com braquiária – feijão comum/milho – trigo sarraceno/soja) foi rentável, com rendimento agrícola líquido positivo. Apesar de ter o segundo maior custo de produção, também foi o que gerou maior receita, mostrando que o maior custo desse sistema de produção pode ser mais do que compensado por sua receita. Os resultados obtidos neste estudo indicam que sistemas de produção com rotação de culturas mais diversificados são mais rentáveis, sendo este um importante indicador para promover e acelerar a adoção de tecnologias mais sustentáveis.

O objetivo do estudo de Fortini, Braga e Freitas (2020) foi analisar os efeitos da adoção de diferentes práticas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários no Brasil. A partir dos microdados do Censo Agropecuário de 2006, empregou-se a técnica de Balanceamento por Entropia com o intuito de obter grupos de adotantes e não adotantes das práticas conservacionistas. Os resultados do estudo, ao contrário dos resultados apresentados até aqui, mostraram que a adoção das práticas conservacionistas sobre o lucro, não foi estatisticamente significativo para as práticas rotação de culturas e também lavoura para recuperação de pastagens. Mas os autores refletem sobre o resultado alegando que um dos motivos para o insucesso de uma rotação de culturas, considerando a perda de produtividade, é em razão de se fazer a rotação de forma errada, ou seja, utilizar uma ordem de culturas que não se complementam de forma adequada, e, por conseguinte, não ocasionar um equilíbrio físico, químico e biológico do solo. Assim, apesar de este estudo ter constatado uma menor produtividade da terra para aqueles que adotam rotação de culturas, esta prática não perde sua importância em outros aspectos.

O estudo de Williams et al. (2020) buscou avaliar a eficácia econômica de pequenos produtores horticultores em dois municípios de Gana, usando o modelo análise de custo-



benefício das cinco estratégias de adaptação climática. Considerou-se as seguintes estratégias: Consorciação; Corte misto; Rotação de culturas; Irrigação e Fertilização. Um total de 180 famílias de pequenos produtores que implementaram as práticas identificadas em dois municípios de cultivo de horticultura foram pesquisados. Indicadores de rentabilidade, avaliação de externalidades ambientais e sociais foram empregados para estimar comparativamente o custo-efetividade das práticas. Verificou-se que o cultivo misto e a rotação de culturas são práticas de baixo custo, e o cultivo consorciado, a irrigação e o cultivo misto requerem custos de investimento relativamente altos. Enquanto o cultivo misto e a rotação de culturas exigiam em média dois anos para amortizar os custos de investimento, as outras três práticas exigiam mais de três anos e apresentavam maiores riscos de fracasso se adotadas. Os resultados indicaram ainda que, do ponto de vista privado e público, a implementação de qualquer uma das cinco práticas de adaptação traria benefícios positivos. No entanto, considerando o capital necessário, o período de retorno dos investimentos feitos e os riscos da implementação, o cultivo misto e a rotação de culturas, entre as cinco práticas, são escolhas particularmente adequadas para os pequenos produtores.

Klima et al. (2020) analisaram o rendimento, competitividade, índice de área foliar e indicadores econômicos dos cereais de primavera em sementeiras puras ou mistas em rotações de culturas integradas ou orgânicas, ao longo de nove anos (três rotações de culturas) no sul da Polônia. Os tratamentos avaliaram dois fatores sendo o primeiro entre sistema integrado e orgânico. O segundo fator foi composto por rotações de culturas que envolveram batata, cereais de primavera e ervilhaca de primavera. Foram calculados os indicadores econômicos como a margem bruta e o índice de rentabilidade direta. Ficou constatado que, em média, os cereais nas sementeiras puras e misturadas renderam 18% a menos nas rotações orgânicas em comparação com as integradas. No entanto, os cultivos de misturas de cereais de primavera produziram mais do que as sementeiras puras e apresentaram maior índice de área foliar e razão equivalente de terra. A margem bruta média, sem subsídios, foi quase duas vezes maior nas rotações orgânicas do que nas integradas, influenciada principalmente pelo cultivo da cevada em sementeira pura. Resumindo, o cultivo de misturas de cereais de primavera nas áreas montanhosas do sul da Polónia é recomendado por fatores produtivos e econômicos.

Volsi et al. (2021) se propuseram verificar se sistemas de rotação de culturas mais diversificados apresentam melhor desempenho econômico. Para isto, realizaram um experimento localizado na sede do Instituto Agrônomo do Paraná, em Londrina-PR. Foram seis tratamentos sendo cinco sistemas de rotação de culturas altamente diversificados e um sistema de rotação de culturas pouco diversificado, em um ciclo de três anos. Para a análise econômica, foi utilizado a relação entre receita e custo, ou retorno líquido, para cada sistema de produção. Foi concluído que os sistemas de produção que praticam uma rotação de culturas mais diversificada apresentaram maior lucro e receita. Especificamente, o melhor resultado de receita foi encontrado no tratamento com a combinação milho/milho e braquiária – canola/milho – feijão comum/soja. Apesar do maior custo, sistemas diversificados com maior número de cultivos comerciais no inverno apresentaram maiores lucros.

O trabalho de Barboza-Navarro et al. (2021) buscou otimizar a rentabilidade econômica do plantio de batata, cebola e cenoura na Costa Rica por meio de um modelo de programação linear. Neste estudo, foram utilizados dados de fontes primárias e secundárias de instituições ligadas ao setor agropecuário para determinar receitas e custos. A rentabilidade de cada cultura foi calculada. Foram aplicados dois cenários de otimização da função de rentabilidade com base em restrições de área útil, capacidade de mercado e orçamento. O modelo matemático de programação linear, no primeiro cenário, permitiu demonstrar que a otimização econômica do sistema de rotação produtiva das culturas da batata, cebola e cenoura foi alcançada ao plantá-las nos meses de abril, agosto e setembro, para colher nos meses de julho, novembro e



dezembro. Mas, a solução mais rentável foi apresentada no segundo cenário, onde os produtores semeiam cada safra apenas uma vez por ano, ou seja, em rotação, e usam toda a terra disponível.

Drakopoulos et al. (2021) investigaram a viabilidade agrônômica e econômica de dois sistemas inovadores de cultivo com o objetivo de reduzir o risco de doenças fúngicas na cultura do trigo. Esses sistemas eram milho consorciado e cultivo de cobertura com diferentes espécies de plantas antes da estação de cultivo do trigo sob práticas de cultivo reduzido. O experimento de campo foi conduzido ao longo de dois anos (2016–2017) e em dois campos diferentes na Suíça. Foi realizada uma avaliação econômica por meio do cálculo de receitas, custos operacionais e margem bruta para cada sistema de cultivo. Foi concluído que o cultivo de culturas intercaladas com milho ou culturas de cobertura intercaladas em uma rotação milho-trigo sob lavoura reduzida diminuiu as micotoxinas nos grãos de trigo, mantendo o rendimento da cultura. No entanto, esse benéfico agrônômico devido ao aumento dos custos operacionais, foi compensado economicamente com a redução da margem bruta na faixa de 7 a 25% em toda a rotação.

O objetivo da pesquisa de Dayananda et al. (2021) foi comparar o impacto de duas sequências de rotação de culturas (simplificada e diversificada) e dois níveis de intensidade de cultivo (alta e baixa) no custo de produção, retorno bruto e margem bruta de culturas quando cultivadas sob manejo orgânico na zona semiárida de solo marrom das pradarias canadenses por um período de seis anos. Os tratamentos envolveram culturas como ervilha forrageira, trigo vermelho duro, linho, ervilha forrageira, lentilha e mostarda amarela. Foi calculada a receita bruta da venda das safras. A hipótese levantada no trabalho de que uma rotação de culturas diversificada resultaria em maior lucratividade agrícola do que uma rotação de culturas simplificada foi confirmada pelos resultados. Os retornos brutos médios de cinco anos e as margens brutas, com e sem prêmios de preços orgânicos, foram significativamente maiores para os tratamentos de cultivo de alta intensidade em comparação com os tratamentos de cultivo de baixa intensidade. Soma-se a isso, margens brutas médias de cinco anos não foram significativamente afetadas pelas sequências de rotação.

He et al. (2021) buscaram avaliar efeitos econômicos, sociais e ecológicos dos dados gerados de campos com diferentes sistemas de cultivo de arroz durante os anos de 2017 e 2018, a fim de desenvolver uma estratégia de produção de arroz mais rentável, eficaz e ecológica na China. Cada um dos experimentos de campo continha tratamentos incluindo duas cultivares de arroz e quatro sistemas de cultivo que envolveram as culturas de arroz, batata e melancia. Foram determinados os indicadores de avaliação de benefícios, incluindo lucro, margem de lucro, receita, rendimento entre outros. Os resultados mostraram que o aumento da diversidade agrícola por meio de rotações, particularmente a rotação batata-arroz, aumentou significativamente os benefícios sociais, econômicos e ecológicos da produção de arroz. Rendimentos, lucros, margens de lucro, valores adimensionais ponderados de características químicas e físicas do solo e metais pesados, benefícios e externalidades gerados pela rotação batata-arroz e outras rotações foram geralmente maiores do que culturas sucessivas de arroz. Isso sugere que vale a pena implementar a diversidade agrícola por meio de rotações.

O trabalho de Garbelini et al. (2022) foi baseado em resultados obtidos durante as safras 2009–2017 através de um experimento de campo de longa duração realizado desde 1985 em Campo Mourão-PR, o qual teve como objetivo analisar a produtividade de grãos e a rentabilidade de sistemas de produção agrícola com diferentes níveis de diversidade vegetal. Os tratamentos foram compostos por cinco sistemas envolvendo as culturas da soja, milho, trigo, aveia branca, aveia preta, nabo forrageiro, e rabanete. Os resultados provaram que as rotações de culturas diversificadas aumentaram a produtividade de grãos de soja, milho e trigo, ao mesmo tempo em que reduziram os custos de produção. Todos os sistemas diversificados de



rotação de culturas de quatro anos geraram um lucro operacional cumulativo e margem bruta mais altos do que os sistemas especializados de cultivo duplo.

O estudo de Melo et al. (2022) verificou a percepção e o nível de práticas conservacionistas de solo e água adotadas por agricultores com culturas anuais em uma bacia hidrográfica no estado do Paraná e também a relação entre a adoção de práticas conservacionistas e as características socioeconômicas dos agricultores. Este levantamento foi realizado em 41 propriedades rurais durante a safra 2019-2020, onde o sistema de produção predominante é de culturas anuais, principalmente com soja e milho em cultivo duplo sob plantio direto. Os resultados mostram que para 10,5% dos proprietários, a adoção de práticas conservacionistas é importante para reduzir os custos de produção. O ponto de vista dos proprietários ou arrendatários determina se a rotação de culturas é considerada importante para a manutenção da produção. Aproximadamente 58% dos proprietários e 87% dos arrendatários entendem que a manutenção da produção é o motivo mais importante para a adoção da rotação de culturas. Em contrapartida, foi verificado que a rotação de culturas é a única prática de conservação com o menor nível de adoção entre os agricultores, adotada por 30,4% dos proprietários e 33,3% dos arrendatários. Os autores afirmam que mesmo cientes da importância da rotação de culturas na manutenção do nível de rendimento da produção agrícola, os agricultores demonstram grande resistência em adotar essa prática. A principal razão para a baixa adoção é a incerteza na obtenção de lucros com o cultivo de culturas alternativas ao cultivo duplo (com cultivo de soja na primavera/verão seguido de milho). Isso possivelmente se deve em parte à uma visão limitada sobre a rentabilidade do sistema de produção agrícola, que por vezes se restringe à uma análise de curto prazo. As melhorias para os sistemas agrícolas, incluindo seus benefícios econômicos, com a adoção da rotação de culturas vêm apenas a médio e longo prazo. Esse é um dos principais gargalos para a intensificação sustentável da produção agropecuária e precisa ser abordado em ações públicas e privadas, especialmente pela assistência técnica.

O trabalho de Devkota, Devkota e Kumar (2022) teve como objetivo avaliar sistematicamente indicadores agrônômicos, econômicos e de fertilidade do solo sob AC e preparo convencional usando experimentação de campo de médio prazo e modelagem de simulação de longo prazo para um solo argiloso de uma região de sequeiro no Marrocos. O experimento foi conduzido de 2015 a 2019 adotando quatro culturas como cevada, grão-de-bico, lentilha e trigo. A análise econômica foi realizada considerando o custo total do cultivo e o retorno bruto. Os resultados mostraram que ao longo dos cinco anos de chuvas contrastantes, em comparação com preparo convencional, AC teve maior estabilidade de rendimento e aumentou o rendimento de grãos de trigo em 43%, cevada em 8%, lentilha em 11% e grão de bico em 19%. Soma-se a isso, nos cinco anos de ciclo de rotação cereal-leguminosa, a AC resultou em aumento do rendimento do sistema (em 20%), benefícios totais (em 40%), eficiência de uso da precipitação (em 13%) e umidade disponível no solo (em 14%) com custo de produção reduzido em 14,5%. Logo, o experimento de campo e os resultados de simulação de longo prazo sugerem que a adoção de AC melhora uma série de indicadores agrônômicos e econômicos e de fertilidade do solo em comparação com o preparo convencional no solo argiloso de um ambiente mediterrâneo de sequeiro do Marrocos.

O foco principal do estudo de Chavan et al. (2022) foi determinar a viabilidade econômica de plantações de choupo em um experimento de campo desde o plantio até a colheita. O trabalho de pesquisa foi realizado na Índia, sendo conduzido no período de 2008 a 2016. O experimento foi projetado plantando choupo em variadas direções para determinar o potencial de produção, viabilidade econômica e seu efeito em rotações de culturas de sorgo e trigo até a colheita das árvores. A análise econômica dos sistemas de limites indica que a adoção de um sistema baseado em árvores ajudaria os agricultores a aumentar a renda total em um



ambiente semiárido onde o cultivo tradicional não é economicamente viável. Portanto, foi concluído que o consórcio de uma rotação de culturas de sorgo-trigo em plantações de fronteira na direção leste-oeste foi mais benéfico para aumentar a renda agrícola do que a agricultura tradicional no norte da Índia.

A pesquisa de Hoque et al. (2023) se propôs a avaliar a AC e rotação de culturas contra o cultivo convencional em termos de rendimento de grãos, proteína de grãos e rendimentos calóricos, uso de trabalho e margem bruta. O estudo foi realizado entre os anos de 2013 e 2016 no norte de Bangladesh. Os tratamentos avaliados foram três opções de preparo do solo e seis sequências de cultivo que envolveram as culturas do arroz, feijão mungo, trigo e milho. Este estudo mostrou que os sistemas com arroz-milho e arroz-feijão mungo podem aumentar o rendimento da cultura principal (arroz) e os rendimentos de calorias e proteínas dos sistemas em 50%, 5% e 27%, respectivamente, enquanto fornecem margens brutas 133% maiores do que o sistema monocultivo arroz-arroz. Em conclusão, AC teve melhor desempenho do que cultivo convencional em diferentes culturas de inverno e sistemas de cultivo. Os resultados ainda demonstram os múltiplos benefícios das práticas de cultivo parcial e total baseadas em AC empregadas com diversificação apropriada de culturas para alcançar a segurança alimentar sustentável com maior ingestão de calorias e proteínas, maximizando a lucratividade agrícola de sistemas intensivos de rotação baseados em arroz.

Na tabela 3 são apresentados os artigos com resultados de pesquisas que além de análises econômicas, realizaram algum tipo de análise de risco.

Tabela 3. Artigos que abordam análises econômicas e de risco

Título	<i>Avaliação de sistemas de rotação de culturas na análise econômica e de risco, nas décadas de 1980 a 2010</i>
Autor/Ano	Santos et al. (2019a)
Periódico	Capítulo de Livro da Embrapa
País	Brasil
Assunto	Divulgação dos resultados dos experimentos de longa duração relativos à análise econômica e de risco em diferentes sistemas de rotação de culturas.
Título	<i>Stability analysis for grain yield of winter wheat in a long-term field experiment</i>
Autor/Ano	Macholdt e Honermeier (2019)
Periódico	Archives of Agronomy and Soil Science
País	Alemanha
Assunto	Investigação sobre a estabilidade de rendimento do trigo de inverno em função de sistemas de rotação de culturas com diferentes adubações nitrogenadas e sob diferentes condições meteorológicas anuais durante um período de 25 anos.
Título	<i>Economic Performance of Long-term Organic and Conventional Crop Rotations in the Mid-Atlantic</i>
Autor/Ano	White et al. (2019)
Periódico	Agronomy Journal
País	Estados Unidos
Assunto	Levantamento dos custos, rendimentos e retornos líquidos de cinco sistemas de cultivo entre anos de 2006 e 2014.
Título	<i>Agronomic and economic benefits of rotating corn with soybean and spring wheat under different tillage in eastern Canada</i>
Autor/Ano	Gagnon et al. (2019)



Periódico	Agronomy Journal
País	Canadá
Assunto	Identificação do melhor sistema de rotação de culturas em relação a produtividade de grãos, agregação do solo e retorno econômico sob diferentes manejos de preparo do solo.
Título	<i>Evaluating the climate resilience in terms of profitability and risk for a long-term corn-soybean-wheat rotation under different treatment systems</i>
Autor/Ano	Eeswaran, Nejadhashemi e Miller (2021)
Periódico	Climate Risk Management
País	Estados Unidos
Assunto	Este estudo foi concebido para avaliar a resiliência climática de três sistemas alternativos de tratamento em termos de rentabilidade e riscos a longo prazo em comparação com o sistema convencional.
Título	<i>Pulse-included diverse crop rotations improved the systems economic profitability: evidenced in two 4-year cycles of rotation experiments</i>
Autor/Ano	Khakbazan et al. (2022)
Periódico	Agronomy for Sustainable Development
País	Canadá
Assunto	Avaliação da lucratividade e o desempenho de uma variedade de rotações de leguminosas em comparação com a monocultura de trigo durante um período de estudo de 8 anos, além de examinar o risco de rotações com diferentes tipos e frequências de culturas de leguminosas.

A pesquisa de Santos et al. (2019a) apresenta a análise econômica e a avaliação dos riscos inerentes aos diferentes sistemas de rotação de culturas para trigo, cevada e triticale, sob preparo convencional de solo e SPD, ou ainda sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, também, envolvendo a cultura de trigo. Foi perceptivo que o sistema de rotação de culturas sempre foi mais lucrativo do que a monocultura de espécies. Soma-se a isso, além de ter reduzido os custos de produção das lavouras, pelo aumento do rendimento de grãos, promoveu a diversificação de culturas e, como consequência, diminuiu o risco de insucesso do agricultor.

A proposta de estudo de Macholdt e Honermeier (2019) foi investigar a estabilidade de rendimento do trigo de inverno em função de sistemas de rotação de culturas com diferentes adubações nitrogenadas sob diferentes condições meteorológicas anuais durante um período de 25 anos. O estudo foi baseado em um experimento de campo de longo prazo que foi conduzido na Alemanha. Os tratamentos incluíram seis sistemas diferentes de rotação de culturas que envolveram cultivares de centeio de inverno, trigo de inverno, cevada de inverno, aveia de primavera, colza, beterraba, feijão de campo, feijão forrageiro e milho para silagem. Três abordagens metodológicas foram usadas sendo a Ecovalência, Análise biplot e Análise de risco. Com base no experimento de campo investigado, foram determinados efeitos claros da rotação de culturas e da fertilização com nitrogênio na estabilidade do rendimento do trigo de inverno. Em todos os três tratamentos de adubação com nitrogênio, os sistemas de rotação de culturas mais seguros foram com feijão forrageiro como cultura anterior, que mostrou a maior probabilidade de o trigo de inverno exceder o rendimento médio de grãos. Esses são fatores importantes a serem considerados nas decisões de manejo agrônomo sob as condições ambientais cada vez mais difíceis causadas pelas mudanças climáticas.

White et al. (2019) realizaram o levantamento dos custos, rendimentos e retornos líquidos dos cinco sistemas de cultivo em projeto de sistemas agrícolas em Beltsville, Estados Unidos, entre 2006 e 2014. O projeto analisado é composto por dois sistemas de cultivo



convencionais e três orgânicos que consistiam em rotações que envolveram culturas como ervilhaca, milho, centeio, soja, trigo e alfafa. Um modelo de avaliação de risco foi usado para avaliar o risco para as rotações completas de culturas em cada sistema. Os retornos anuais para cada cultura e os retornos médios para cada sistema foram calculados. Os resultados desta análise econômica demonstraram que rotações longas e diversificadas em sistemas de agricultura orgânica aumentam os retornos tanto para cultivos individuais dentro da rotação quanto para o próprio sistema. Além disso, a inclusão de uma cultura forrageira perene plurianual estabiliza os retornos gerais, particularmente em anos ruins para culturas de grãos, e reduz o risco relativo a rotações orgânicas mais curtas e a sistemas convencionais de plantio direto e arado. Os retornos do sistema orgânico são competitivos com os sistemas de Plantio Direto e convencional com aração, independentemente da duração da rotação, embora os retornos de rotações mais curtas sejam mais variáveis e tenham maior risco associado à produção.

Já Gagnon et al. (2019) buscaram identificar o melhor sistema de rotação de culturas sob dois manejos de preparo do solo, com relação a produtividade de grãos, agregação do solo e retorno econômico, na região úmida de condições climáticas temperadas do leste do Canadá. O experimento durou seis anos e incluiu tratamentos de preparo do solo sendo cultivo mínimo e preparo convencional com aração de aiveca. Foram avaliados seis sistemas de rotação de culturas sendo milho contínuo, soja contínua, milho-soja, milho-milho-soja, milho-soja-trigo de primavera e milho-trigo de primavera-soja. Uma análise econômica foi realizada para encontrar a rotação com o maior retorno líquido entre os anos com menor risco econômico. Isso foi feito com uma simulação estocástica onde a distribuição dos retornos líquidos anuais para cada sistema de rotação foi descrita em termos de suas respectivas médias, variâncias e valores fractais. Foi verificado que o sistema de rotação de culturas afetou o rendimento e o desempenho econômico das culturas de grãos cultivadas. Milho cultivado em rotação teve maior rendimento de grãos do que milho contínuo ou milho-milho-soja independentemente do preparo do solo. A soja cultivada uma vez a cada três anos produziu rendimentos consistentemente maiores do que soja contínua, enquanto a inclusão de trigo de primavera para diversificar a rotação milho-soja aumentou o rendimento de grãos de milho e soja em comparação com o cultivo contínuo. As rotações soja contínua, milho-soja e milho-soja-trigo de primavera e milho-trigo de primavera-soja com palha de trigo sendo vendida foram os sistemas de rotação mais eficientes, ou seja, altos retornos líquidos e baixo risco averso. Assim, pode ser aconselhável adotar cultivo mínimo em condições climáticas e de solo comparáveis devido aos seus benefícios na qualidade do solo sem prejudicar o rendimento e a lucratividade da cultura.

O estudo de Eeswaran, Nejadhashemi e Miller (2021) foi concebido para avaliar os efeitos da variabilidade climática nos retornos líquidos das fazendas sob diferentes sistemas de produção e tratamento e também o nível de risco para a adaptação desses diferentes tratamentos alternativos. Este estudo foi conduzido em Michigan, Estados Unidos, onde foi avaliada a resiliência climática de três sistemas alternativos de tratamento implementados em uma rotação de longo prazo milho-soja-trigo em comparação com um tratamento convencional. A margem bruta e a variação anual na margem bruta como medida foram usadas como métricas de avaliação de risco econômico. Os resultados modelados demonstram ser esperado que as receitas líquidas do orgânico com certificado pelo USDA excedam as receitas líquidas do tratamento convencional, ou seja, o orgânico apresente maior estabilidade anual nas receitas. Ficou evidente que o tratamento de plantio direto domina as práticas convencionais e de insumos reduzidos nas receitas líquidas anuais esperadas com um risco relativamente menor para essas receitas em função dos extremos climáticos. Além disso, os tratamentos orgânicos e plantio direto mostraram-se adequados para atender a uma gama de agricultores com diferentes



preferências de risco. Portanto, os tratamentos orgânicos e plantio direto foram considerados resilientes ao clima e essa descoberta pode motivar a expansão de práticas conservacionistas na agricultura.

A pesquisa de Khakbazan et al. (2022) teve como proposta avaliar a lucratividade e o desempenho de uma variedade de rotações de leguminosas em comparação com a monocultura de trigo durante um período de estudo de 8 anos, além de examinar o risco de rotações com diferentes tipos e frequências de culturas de leguminosas. Os experimentos foram conduzidos em três locais no Canadá, onde os tratamentos consistiram em 13 rotações de culturas diversificadas com cultivares de ervilha amarela, grão-de-bico, lentilha vermelha, mostarda oriental e 1 cultivo contínuo de trigo. A receita líquida foi estimada e um modelo de simulação foi utilizado para conduzir a análise de risco-retorno. Os resultados mostraram que as rotações com altas frequências de lentilha ou culturas diversificadas geraram receitas líquidas significativamente maiores do que os sistemas de monocultura de trigo. A análise de risco sugeriu que os produtores avessos ao risco no oeste do Canadá podem selecionar as rotações mais diversificadas, a fim de reduzir o risco de produção e melhorar a lucratividade. Soma-se a isso, o estudo mostrou que adicionar leguminosas à rotação de culturas pode reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados em 38%, portanto gerar economia.

Diante dos resultados apresentados, percebe-se que as práticas de AC, como os sistemas de rotação de culturas, não só podem proporcionar benefícios agrônômicos, mas também ganhos econômicos. Além de serem estratégias que podem reduzir os vários riscos inerentes da atividade agrícola.

4. Considerações finais

Esta revisão sistemática de literatura através de bases de dados nacionais e internacionais identificou 25 trabalhos sobre análise econômica e análise de risco em sistemas de rotação de culturas entre os anos de 2018 e 2023. Deste, 76% apresentaram estudos apenas de análises econômicas enquanto 24% também agregam análise de risco. Em relação aos locais da realização dos estudos, 32% foram pesquisas realizadas no Brasil e 68% em outros países. O ano de 2019 foi o que apresentou o maior número de estudos.

À luz do referencial teórico apresentado, conclui-se que as práticas de AC, como os sistemas de rotação de culturas, não só apresentam benefícios agrônômicos, mas também econômicos e podem ser estratégias que podem reduzir os vários riscos inerentes à atividade agrícola.

Os dados levantados nessa revisão de literatura são importantes para demonstrar novas possibilidades de estudos necessários sobre análises econômicas e de risco para auxiliar os produtores rurais no processo de tomada de decisão na adoção de práticas da AC como os sistemas de rotações de culturas.

5. Referências

BARBOZA-NAVARRO, D.; SOLORZANO-THOMPSON, J.; PANIAGUA-MOLINA, J. Optimización económica para el cultivo de papa, zanahoria y cebolla en Cartago, Costa Rica. **Tecnología en Marcha**, Cartago, v. 34, n. 4, p. 38-49, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v34i4.5184>

CHAVAN, S. B.; DHILLON, R. S.; SIROHI, C.; KEERTHIKA, A.; KUMARI, S.; BHARADWAJ, K. K.; ...; YESSOUFOU, K. Enhancing Farm Income through Boundary



Plantation of Poplar (*Populus deltoides*): An Economic Analysis. **Sustainability**, v. 14, n. 14, p. 1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14148663>

CONTE, O.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A.A.B. Manejo do solo. In: SEIXAS, C.D.S.; NEUMAIER, N.; JUNIOR, A.A.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; LEITE, R.M.V.B.C. (Ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina Embrapa Soja, 2020. 347 p. Cap. 3, p. 53-80.

CRONIN, P.; RYAN, F.; COUGHLAN, M. Undertaking a Literature Review: a step-by-step approach. **British Journal of Nursing**, v.17, n.1, p. 38-43, 2008. DOI: <https://doi.org/10.12968/bjon.2008.17.1.28059>

DAYANANDA, B.; FERNANDEZ, M.; LOKURUGE, P.; ZENTNER, R.; SCHELLENBERG, M. Economic analysis of organic cropping systems under different tillage intensities and crop rotations. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 36, n. 5, p. 509-516, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170521000120>

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; JUNIOR, A.A.B.; CONTE, O. Diversificação de espécies vegetais em sistemas de produção. In: SEIXAS, C.D.S.; NEUMAIER, N.; JUNIOR, A.A.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; LEITE, R.M.V.B.C. (Ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina Embrapa Soja, 2020. 347 p. Cap. 5, p. 91-118.

DEVKOTA, M.; DEVKOTA, K. P.; KUMAR, S. Conservation agriculture improves agronomic, economic, and soil fertility indicators for a clay soil in a rainfed Mediterranean climate in Morocco. **Agricultural Systems**, v. 201, p. 1-14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103470>

DRAKOPOULOS, D.; KÄGI, A.; SIX, J.; ZORN, A.; WETTSTEIN, F. E.; BUCHELI, T. D.; ...VOGELGSANG, S. The agronomic and economic viability of innovative cropping systems to reduce Fusarium head blight and related mycotoxins in wheat. **Agricultural Systems**, v. 192, p. 1-9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103198>

EESWARAN, R.; NEJADHASHEMI, A.P.; MILLER, S.R. Evaluating the climate resilience in terms of profitability and risk for a long-term corn-soybean-wheat rotation under different treatment systems. **Climate Risk Management**, v.32, p. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100284>

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Conservation Agriculture**. 2022. Disponível em: < <https://www.fao.org/3/cb8350en/cb8350en.pdf> >. Acesso: 05 set. 2022.

FERNANDES, C.H.S.; TEJO, D.P.; ARRUDA, K.M.A. Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: Histórico, Implantação e Culturas Utilizadas. **UNICIÊNCIAS**, v. 23, n. 2, p. 83-88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2019v23n2p83-88>

FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, p. 1-19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.199479>



FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; VOLSI, B., SOARES, D.; CARNEIRO, S. L.; GUIMARÃES, M.F. Profitability of no-till grain production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 77-86, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n1p77>

GAGNON, B.; POULEUR, S.; LAFOND, J.; PARENT, G.; PAGEAU, D. Agronomic and economic benefits of rotating corn with soybean and spring wheat under different tillage in eastern Canada. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 3109-3118, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0653>

GALVÃO, M.C.B.; RICARTE, I.L.M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v.6, p. 57-73, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>

GARBELINI, L.G.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A.A.B.; FRANCHINI, J.C.; COELHO, A. E.; TELLES, T.S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. **European Journal of Agronomy**, v.137, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126528>

GOLLO, V.; VIAN, M.; DIEL, F.J. Análise da viabilidade econômico-financeira das atividades leiteira e suinícola em uma propriedade rural. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2017. p. 4289-4399, 2017.

HE, D. C.; MA, Y. L.; LI, Z. Z.; ZHONG, C. S.; CHENG, Z. B.; ZHAN, J. Crop rotation enhances agricultural sustainability: from an empirical evaluation of eco-economic benefits in rice production. **Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 1-14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11020091>

HOQUE, M. A.; GATHALA, M. K., TIMSINA, J., ZIAUDDIN, M. A., HOSSAIN, M., & KRUPNIK, T. J. Reduced tillage and crop diversification can improve productivity and profitability of rice-based rotations of the Eastern Gangetic Plains. **Field Crops Research**, v. 291, p. 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108791>

KHAKBAZAN, M.; LIU, K.; BANDARA, M.; HUANG, J.; GAN, Y. Pulse-included diverse crop rotations improved the systems economic profitability: evidenced in two 4-year cycles of rotation experiments. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 5, p. 1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00831-2>

KLIMA, K.; SYNOWIEC, A.; PUŁA, J.; CHOWANIAK, M.; PUŻYŃSKA, K.; GALA-CZEKAJ, D.; KLISZCZ, A.; GALBAS, P.; JOP, B.; DĄBKOWSKA, T.; LEPIARCZYK, A. Long-term productive, competitive, and economic aspects of spring cereal mixtures in integrated and organic crop rotations. **Agriculture**, v. 10, n. 6, p. 1-14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10060231>

KUMAR, V.; JAT, H. S.; SHARMA, P. C.; GATHALA, M. K.; MALIK, R. K.; KAMBOJ, B. R.; ...; MCDONALD, A. Can productivity and profitability be enhanced in intensively managed cereal systems while reducing the environmental footprint of production? Assessing sustainable intensification options in the breadbasket of India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 252, p. 132-147, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.006>



MACHOLDT, J.; HONERMEIER, B. Stability analysis for grain yield of winter wheat in a long-term field experiment. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 5, p. 686-699, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1520979>

MELO, T.R.; ASAI, G.A.; HIGASHI, G. E. Perception and level of soil and water conservation practices adoption by farmers in a watershed. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. 1-11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230004>

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; NASCIMENTO JUNIOR, A. do; SANTI, A.; DALMAGO, G.A. Avaliação de sistemas de rotação de culturas na análise econômica e de risco, nas décadas de 1980 a 2010. In: SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; DALMAGO, G.A.; PIRES, J.L.F.; SANTI, A. (Ed.). **Sistemas de produção para cereais de inverno: três décadas de estudos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019a. Cap. 8, p. 256-307.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SANTI, A.; CASTRO, R.L.; POSSEBOM, T. Análise econômica de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ambiência**, Guarapuava, v.15 n.3, p.535-547, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2019.03.03>

VOLSI, B.; BORDIN, I.; HIGASHI, G. E.; TELLES, T. S. Economic profitability of crop rotation systems in the Caiuá sandstone area. **Ciência Rural**, v. 50, n. 2, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190264>

VOLSI, B.; HIGASHI, G. E.; BORDIN, I.; TELLES, T. S. Production and profitability of diversified agricultural systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n. 2, p.1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191330>

WILLIAMS, P.A.; KARANJA NG'ANG'A, S.; CRESPO, O.; ABU, M. Cost and benefit analysis of adopting climate adaptation practices among smallholders: the case of five selected practices in Ghana. **Climate Services**, v. 20, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2020.100198>

WHITE, K. E.; CAVIGELLI, M. A.; CONKLIN, A. E.; RASMANN, C. Economic performance of long-term organic and conventional crop rotations in the Mid-Atlantic. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 3, p. 1358-1370, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.09.0604>

WOŹNIAK, A.; NOWAK, A.; HALINIARZ, M.; GAWĘDA, D. Yield and Economic Results of Spring Barley Grown in Crop Rotation and in Monoculture. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 2, n. 4, p. 2441-2448, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/90634>

YIGEZU, Y. A. et al. Legume-based rotations have clear economic advantages over cereal monocropping in dry areas. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 6, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0602-2>