

Impacto das mudanças climáticas na produção de grãos e estratégias de mitigação para os produtores

Vitório Brizot Rodrigues^{1*}; Ana Paula Moraes Mourão Simonetti¹

¹Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.

^{1*}vbrodriques@.fag.edu.br

Resumo: O presente estudo propôs-se a avaliar, por meio de uma revisão sistemática com meta-análise, o impacto das mudanças climáticas na produtividade de grãos no Brasil, bem como as estratégias de mitigação adotadas pelos produtores agrícolas. Adotando o método de revisão sistemática da literatura, foram selecionados 15 artigos que atendiam aos critérios de inclusão estabelecidos, os quais abordavam diretamente o tema das mudanças climáticas, a produtividade de grãos e estratégias de mitigação específicas para o contexto brasileiro. As palavras-chave presentes nesse trabalho foram selecionadas e utilizadas nos bancos de dados Elservier, Scielo, Google Scholar e Capes, com uma restrição de tempo de 15 anos. Após a análise dos artigos selecionados, foi possível identificar tendências de impacto das mudanças climáticas na produção de grãos, bem como avaliar a eficácia das estratégias de mitigação adotadas pelos produtores agrícolas. Os resultados obtidos fornecem pontos importantes para compreender e enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas na agricultura brasileira, destacando a necessidade de medidas eficazes de adaptação e mitigação para garantir a sustentabilidade do setor agrícola no país. Em conclusão, a pesquisa enfatiza os impactos gerados e a discussão de estratégias para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas requer um esforço multidisciplinar e coordenado que envolve avanços científicos, políticas públicas eficazes e um compromisso social com práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: Clima; Produtividade de grãos; Agricultura brasileira; Impacto ambiental.

Impact of Climate Change on Grain Production and Mitigation Strategies for Farmers

Abstrat: The present study proposed to evaluate, through a systematic review with meta-analysis, the impact of climate change on grain productivity in Brazil, as well as the mitigation strategies adopted by agricultural producers. Adopting the systematic literature review method, 15 articles were selected that met the established inclusion criteria, which directly addressed the topic of climate change, grain productivity and specific mitigation strategies for the Brazilian context. The selected keywords present in this study were used in the Elservier, Scielo, Google Scholar and Capes databases, with temporal restrictions of 15 years. After analyzing the selected articles, it was possible to identify trends in the impact of climate change on grain production, as well as evaluate the effectiveness of mitigation strategies adopted by agricultural producers. The results obtained provide important points to understand and face the challenges posed by climate change in Brazilian agriculture, highlighting the need for effective adaptation and mitigation measures to guarantee the sustainability of the agricultural sector in the country. In conclusion, the research emphasizes the impacts generated and the discussion of strategies to face the challenges posed by climate change requires a multidisciplinary and coordinated effort that involves scientific advances, effective public policies and a social commitment to sustainable agricultural practices.

Keywords: Climate; Grain productivity; Brazilian agriculture; Environmental impact.

Introdução

O impacto das mudanças climáticas na produtividade de grãos e as estratégias de mitigação para os produtores agrícolas tornou-se um tema central nas pesquisas contemporâneas devido à crescente preocupação com a segurança alimentar global e a sustentabilidade ambiental. As alterações no clima têm demonstrado efeitos significativos sobre os padrões de precipitação, a ocorrência de eventos extremos e as temperaturas médias, fatores que influenciam diretamente a produção agrícola.

Silva e Souza (2013) destacam que a variação no ritmo pluvial tem uma relação direta com a produtividade de soja no Tocantins. Eles observaram que durante o ano agrícola de 2006/2007, a queda de produtividade foi atribuída a uma baixa pluviosidade combinada com altas temperaturas, que causaram deficiência hídrica no solo em momentos críticos do desenvolvimento fenológico da soja, como a germinação e a floração. Isso evidencia como a irregularidade na precipitação pode afetar drasticamente a produção de grãos.

As mudanças climáticas não são um fenômeno recente. Segundo Assad (2021), a temperatura na Terra tem variado significativamente nos últimos 500 mil anos. Contudo, a aceleração das mudanças climáticas nos últimos séculos, principalmente devido às atividades humanas, marca um desafio sem precedentes para a agricultura moderna. As evidências apontam para um aumento da temperatura e alterações nos padrões de precipitação, que afetam diretamente a produtividade das culturas.

No Cerrado brasileiro, que responde por uma grande parte da produção agrícola do Brasil, as previsões climáticas indicam um aumento de temperatura entre 2°C e 4°C até o final do século, juntamente com uma redução de 20% a 40% nas precipitações (Da Silva *et al.*, 2015). Esses dados alarmantes mostram a necessidade urgente de estratégias de mitigação para garantir a viabilidade da produção de grãos. A redução das chuvas e o aumento do risco de estiagens implicam em sérios desafios para a agricultura de sequeiro, uma prática comum na região.

Félix *et al.* (2020) ressaltam que a produção agrícola sob o efeito das mudanças climáticas não só afeta a produtividade, mas também contribui significativamente para a geração de gases de efeito estufa. Assim, estratégias de mitigação devem considerar tanto a adaptação das práticas agrícolas quanto a redução das emissões. Entre as medidas sugeridas, destaca-se a adoção de novos sistemas produtivos que integrem o viés ambiental, promovendo a sustentabilidade a longo prazo.

Angelotti, Fernandes Júnior (2011) discutem a importância do manejo correto do solo como uma estratégia para reduzir a emissão de gases do efeito estufa no Semiárido brasileiro.

Além disso, práticas como a captação de água de chuva e o uso de variedades de plantas mais resistentes às condições climáticas adversas são essenciais para manter a produtividade em regiões vulneráveis. Essas medidas são fundamentais para mitigar os impactos das mudanças climáticas na agricultura.

A adaptação das datas de semeadura é outra estratégia crucial mencionada por Walter *et al.* (2010, 2014). Ajustar o calendário agrícola pode ajudar a otimizar o rendimento das culturas, como o arroz irrigado, sob diferentes cenários climáticos. Isso permite que os agricultores evitem períodos de estresse hídrico e térmico, maximizando a produção e garantindo a segurança alimentar. Schembergue, *et al.* (2017) propõe o uso de sistemas agroflorestais (SAFs) como uma estratégia adaptativa eficaz. Os SAFs aumentam a resiliência às mudanças climáticas, melhoram o desempenho agrícola e a qualidade do solo, além de fornecer benefícios ecológicos adicionais. Esses sistemas integrados representam uma abordagem holística para enfrentar os desafios climáticos.

Dentro desta contextualização, entende-se que o impacto das mudanças climáticas na produção agrícola não pode ser subestimado. A necessidade de adaptação e mitigação é urgente, como evidenciado pelas diversas estratégias discutidas nos artigos. Desde o manejo correto do solo até o uso de sistemas agroflorestais e modelos climáticos, cada estratégia oferece uma solução potencial para mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas na agricultura.

Para tal, o presente trabalho tem por objetivo geral elaborar uma revisão sistemática abordando os impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos e estratégias de mitigação para os produtores. Os objetivos específicos consistem em discutir os impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos apresentados nos artigos selecionados e também discutir as estratégias de mitigação das mudanças climáticas aplicadas na produtividade de grãos também presentes nestes artigos.

Material e Métodos

Para a meta-análise e presente pesquisa, adotou-se o método de revisão sistemática da literatura para investigar o impacto das mudanças climáticas na produtividade de grãos no Brasil, bem como as estratégias de mitigação implementadas pelos produtores agrícolas. Este método é fundamental para garantir uma abordagem abrangente e rigorosa, permitindo a identificação e análise criteriosa dos estudos relevantes disponíveis na literatura científica.

Para direcionar a busca pelos artigos, foram selecionadas palavras-chave relevantes, tais como “clima”, “produtividade de grãos”, “agricultura brasileira”, “impacto ambiental”,

"agricultura sustentável", "adaptação agrícola", "variação climática", "mudança de temperatura" e "produção agrícola". Estas palavras-chave foram utilizadas nos bancos de dados consultados, incluindo Elsevier, Scielo, Google Scholar e Capes, durante o processo de pesquisa foram selecionados somente artigos publicados em inglês, português e espanhol, aplicando um corte temporal de 15 anos, ou seja, artigos publicados de 2009 até 2024.

Os critérios de inclusão estabelecidos para a seleção dos artigos foram cuidadosamente definidos. Buscou-se incluir estudos que abordassem diretamente o tema das mudanças climáticas e seu impacto na produtividade de grãos, especialmente aqueles realizados exclusivamente no território brasileiro e que apresentassem discussões sobre estratégias específicas de mitigação adotadas pelos produtores agrícolas.

Por outro lado, foram estabelecidos critérios de exclusão para filtrar artigos que não se enquadrassem nos objetivos da pesquisa. Artigos que não tratavam do tema das mudanças climáticas em sua totalidade, que não se concentravam na produtividade de grãos, que eram conduzidos em países que não o Brasil ou que não discutiam estratégias de mitigação foram excluídos para garantir a relevância e coesão da análise.

Tabela 1 - Relação de autores, títulos, ano e objetivos dos artigos selecionados para a presente pesquisa.

Autores	Título	Ano	Objetivo
Conke, Leonardo S.; Seleme, Acyr	Os impactos das mudanças climáticas: a opinião da indústria da soja do Paraná	2009	Investigar a compreensão e tratamento das mudanças climáticas pela indústria da soja no Paraná
Walter, Lidiane Cristine <i>et al.</i>	Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas	2010	Simular o rendimento de grãos de arroz em cenários de mudanças climáticas com aumento de CO ₂ e temperatura
Angelotti, <i>et al.</i>	Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação	2011	Discutir os impactos das mudanças climáticas e medidas de mitigação e adaptação no Semiárido brasileiro

Leite, João GDB; <i>et al.</i>	Mudanças climáticas e seus possíveis impactos aos sistemas agrícolas no Sul do Brasil	2012	Discutir os impactos das mudanças climáticas nos sistemas agrícolas do Sul do Brasil
Silva, Aion Angelu Ferraz <i>et al.</i>	Estudo dos impactos do ritmo pluvial no balanço hídrico climatológico para a primavera-verão 2006/2007	2013	Analisar a relação entre clima e produtividade de soja em Pedro Afonso–TO
Costa, D., <i>et al.</i>	Potencial erosivo e índice de anomalias de chuvas no polo de produção de grãos de Paragominas, Pará	2013	Estimar o potencial erosivo das chuvas e subsidiar estratégias de manejo sustentável em Paragominas
Walter, Lidianie Cristine <i>et al.</i>	Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul	2014	Estimar o rendimento de arroz irrigado em cenários futuros de mudanças climáticas no Rio Grande do Sul
QDa Silva, Fernando Antônio Macena <i>et al.</i>	Uso do modelo STICS para avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre a produção de grãos de milho no cerrado brasileiro	2015	Avaliar o impacto das mudanças climáticas na produção de milho no Cerrado brasileiro
Massignam, Angelo Mendes <i>et al.</i>	Impacto das mudanças climáticas para o período futuro 2071-2100 no zoneamento do milho no Sul do Brasil	2015	Determinar os impactos das mudanças climáticas no zoneamento climático do milho no Sul do Brasil
Schembergue, Altamir <i>et al.</i>	Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil 2	2017	Analisar o papel dos sistemas agroflorestais como medida adaptativa às mudanças climáticas no Brasil
De Andrade, Rômulo Wilker Neri <i>et al.</i>	Impactos das mudanças climáticas na produção vegetal e animal no Brasil	2018	Analisar a adaptação da produção vegetal e animal às mudanças climáticas e identificar opções de mitigação

Pieper, Vanessa Ester Pereira	Análise dos elementos climáticos e suas influências em área agrícola na região norte do Mato Grosso	2020	Analisar a interferência do clima na produção de soja na região Norte do Mato Grosso
Félix, Adriano Da Silva <i>et al.</i>	Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil	2020	Realizar uma análise exploratória sobre a adaptação da produção vegetal às mudanças climáticas
Nascimento Cintra, Pedro Henrique; <i>et al.</i>	Produção agrícola: uma revisão bibliográfica sobre as mudanças climáticas e produtividade de plantas graníferas no Brasil	2020	Revisar os impactos das mudanças climáticas na produtividade de plantas graníferas no Brasil
Assad, Eduardo Delgado	Sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas	2021	Explorar a adaptação de sistemas agrícolas às mudanças climáticas

Fonte: elaboração própria (2024).

Após a seleção dos artigos, totalizaram-se 15 artigos para a análise que foi conduzida de acordo com critérios específicos. Foi realizada uma avaliação do impacto das mudanças climáticas na produtividade de grãos, analisando dados sobre variações na produção, tendências de aumento ou diminuição e investigação das causas por trás dessas mudanças. Paralelamente, foram analisadas as estratégias de mitigação mencionadas nos artigos, buscando identificar sua eficácia na preservação da produtividade agrícola e comparando diferentes abordagens utilizadas pelos produtores. Essa análise comparativa permitiu entender melhor quais estratégias são mais eficazes em diferentes contextos agrícolas brasileiros.

Para sintetizar os resultados dos estudos selecionados, foi realizada uma meta-análise, que proporcionou uma visão mais abrangente do impacto das mudanças climáticas e das estratégias de mitigação na produtividade de grãos no Brasil. Além disso, foram aplicadas análises estatísticas descritivas para quantificar esse impacto e avaliar a eficácia das estratégias de mitigação em diferentes cenários agrícolas.

Durante o processo de interpretação dos dados, foi dada especial atenção à organização e síntese das informações pesquisadas e elaboradas. Foi realizada uma análise minuciosa das

informações coletadas, buscando identificar padrões, tendências, relações e pontos que podem contribuir para a compreensão mais profunda do tema em estudo.

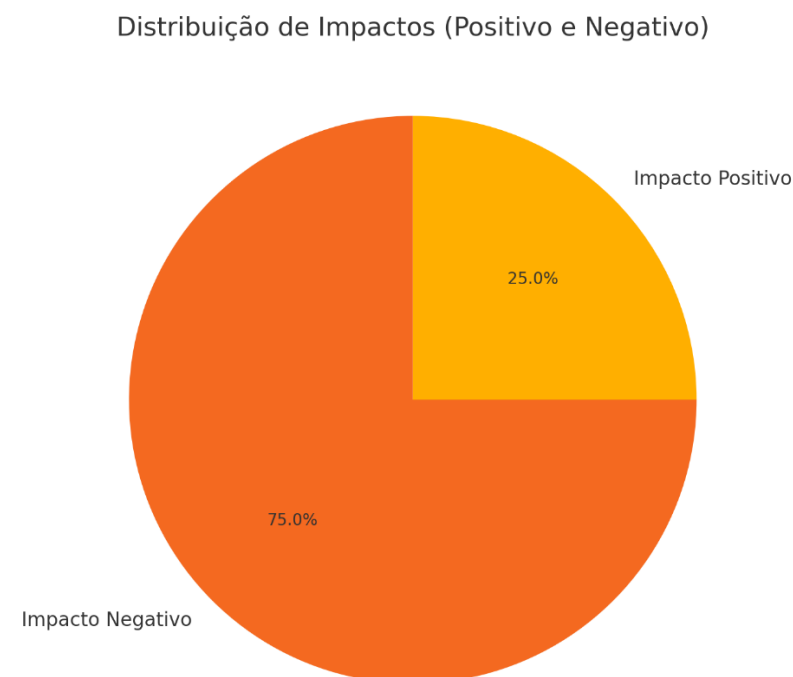
A interpretação dos dados também envolveu uma análise crítica e reflexiva, considerando as limitações e possíveis vieses presentes nas fontes consultadas. Foram exploradas as contribuições teóricas e práticas presentes nos dados, relacionando-os aos objetivos da pesquisa e aos conceitos discutidos ao longo do estudo. Tabelas e gráficos foram elaboração própria e a nuvem de palavras foi feita com a utilização do site “Wordclouds”

Com base nos artigos selecionados acima, realizou-se uma meta-análise com a finalidade de identificar os objetivos propostos na introdução desta pesquisa.

Resultados e Discussão

Inicialmente, cabe destacar que dos 15 artigos selecionados, 80% relataram os impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos (figura 1) e 20% relataram apenas táticas de mitigação. Desses artigos, 53.3% descrevem quais são os impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos enfrentados (tabela 1).

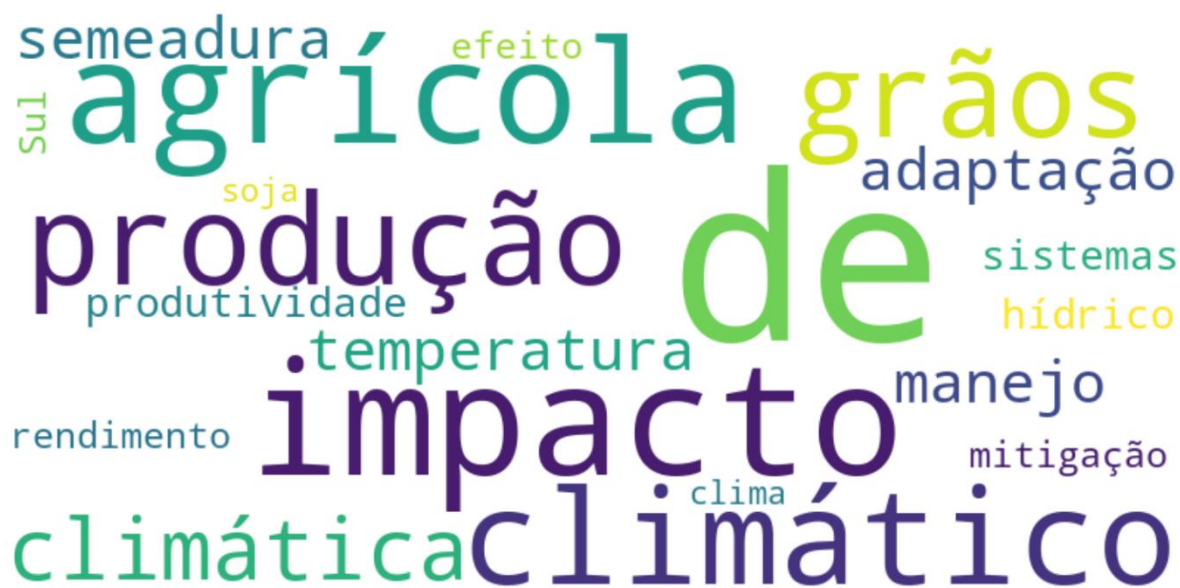
Figura 1 - Impacto das mudanças climáticas na produtividade de grãos a partir da análise dos artigos que compoem os 80%.



Fonte: elaboração própria (2024).

Avançando, se fez uma análise das principais palavras utilizadas nos artigos, de forma que esta análise corrobora com a busca aqui empregada. Para tal, a figura 2 apresenta a nuvem de palavras do presente estudo.

Figura 1 - Nuvem de palavras mais utilizadas nos 15 artigos que foram objeto da pesquisa.



Fonte: elaboração própria (2024).

A nuvem de palavras mostra que os artigos estão amplamente focados em estratégias para mitigar os impactos das mudanças climáticas na agricultura, com um foco particular na produção e produtividade de grãos. As estratégias discutidas incluem o ajuste do calendário de semeadura, desenvolvimento de variedades de plantas mais resistentes, práticas de manejo do solo e sistemas integrados que aumentam a eficiência do uso da terra.

A adaptação e a mitigação são as abordagens principais, com uma forte ênfase na sustentabilidade e resiliência agrícola. Com base nestes resultados, delimitou-se dois pontos para discussão, sendo: 1) impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos e 2) estratégias de mitigação das mudanças climáticas aplicadas na produtividade de grãos.

A análise dos impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos é uma questão de grande relevância para a agricultura global, e diversos estudos têm abordado essa temática de diferentes perspectivas e contextos regionais, como demonstrado nos estudos pesquisados (Tabela 2). Alguns dos impactos se mostrando positivos embora a quantidade de impactos negativos seja superior.

Tabela 2 - Descrição dos impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos observados nos artigos selecionados.

AUTORES	IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS
Silva, Aion Angelu Ferraz <i>et al.</i>	Queda de produtividade da soja devido à baixa pluviosidade e altas temperaturas, causando deficiência hídrica e stress nas plantas.
Da Silva, Fernando Antônio Macena <i>et al.</i>	Redução do período de crescimento do milho, diminuição da produção de biomassa e rendimento de grãos devido ao aumento de temperatura e redução das chuvas.
Félix, Adriano Da Silva <i>et al.</i>	Impactos negativos na produção de culturas como café, com uma estimativa de perda de 40%, e impactos positivos em culturas como cana-de-açúcar.
Walter, Lidiane Cristine <i>et al.</i>	Variação regional nos efeitos das mudanças climáticas sobre o rendimento de arroz irrigado, com algumas regiões favorecidas e outras desfavorecidas.
Walter, Lidiane Cristine; Rosa, Hamilton Telles, <i>et al.</i>	Aumento no rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de aumento de CO ₂ e temperatura, ampliando o período de semeadura recomendado.
Nascimento Cintra, Pedro Henrique, <i>et al.</i>	Reduções drásticas na produção de milho (97,2%), soja (81,2%) e feijão (71,9%) devido ao aumento da temperatura e CO ₂ .
Costa, D., Martorano, L. G., e de Moraes, J. D. S.	Maior potencial erosivo das chuvas intensificando perdas na produtividade de grãos e danificando o solo em Paragominas, Pará.
Pieper, Vanessa Ester Pereira	Alterações climáticas impactando negativamente a produção de soja na região norte do Mato Grosso.

Fonte: elaboração própria (2024).

No estudo de Silva *et al.* (2013), foi analisada a relação entre o ritmo pluvial e a produtividade de soja em Pedro Afonso-TO, evidenciando que a baixa pluviosidade e as altas temperaturas durante os meses cruciais do ciclo da soja resultaram em deficiência hídrica, impactando negativamente a produtividade da cultura. Este cenário reflete como as mudanças nos padrões de precipitação e temperatura podem afetar diretamente a produção agrícola.

Assad (2021) discute a evolução das práticas agrícolas ao longo de milhares de anos e como as sociedades se adaptaram a diferentes condições climáticas. O autor destaca a importância de desenvolver sistemas agrícolas que sejam resilientes às mudanças climáticas atuais, sugerindo que a adaptação é uma constante na história da agricultura humana. Da Silva

et al. (2015) utilizaram o modelo STICS uma ferramenta que é calibrada a partir dos dados da cultura e do fluxo de nutrientes para projetar os impactos das mudanças climáticas sobre a produção de milho no Cerrado brasileiro. As previsões indicam uma redução significativa na biomassa e no rendimento de grãos devido ao aumento da temperatura e à redução das chuvas. Esse estudo reforça a necessidade de planejamento e adoção de práticas agrícolas que possam mitigar esses efeitos adversos.

Félix *et al.* (2020) realizaram uma análise exploratória sobre os impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. O estudo identificou que culturas como o café poderiam sofrer perdas significativas, enquanto outras, como a cana-de-açúcar, poderiam ter impactos positivos. A diversificação das culturas e a pesquisa em novos manejos são estratégias sugeridas para lidar com esses desafios.

Angelotti, Fernandes Júnior e Sa (2011) discutiram as medidas de mitigação e adaptação já em execução no Semiárido brasileiro, como manejo correto do solo e uso de biocombustíveis. Estas medidas são essenciais para reduzir a emissão de gases do efeito estufa e melhorar a resiliência da agricultura local às mudanças climáticas. Walter *et al.* (2014) e Walter, Rosa e Streck (2010) investigaram os impactos das mudanças climáticas no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, utilizando modelos de simulação. Os estudos mostraram que as mudanças projetadas podem ter tanto efeitos positivos quanto negativos, dependendo da região e das práticas de manejo adotadas.

Schembergue *et al.* (2017) analisaram o papel dos sistemas agroflorestais (SAF's) como estratégia adaptativa. Os SAF's mostraram potencial para melhorar a resiliência das comunidades agrícolas às mudanças climáticas, tornando-as menos vulneráveis. De Andrade *et al.* (2018) exploraram os impactos das mudanças climáticas na produção vegetal e animal no Brasil, destacando a necessidade de práticas sustentáveis que reduzam os impactos ambientais da agricultura.

Massignam *et al.* (2015) avaliaram os impactos das mudanças climáticas no zoneamento climático do milho no Sul do Brasil. Os resultados indicaram um deslocamento significativo das épocas de semeadura recomendadas, demonstrando a necessidade de adaptações no calendário agrícola. Nascimento Cintra, Pereira de Melo e Silva de Menezes (2020) realizaram uma revisão bibliográfica sobre os impactos das mudanças climáticas na produtividade de plantas graníferas no Brasil, projetando reduções drásticas na produção de culturas como milho, soja e feijão, caso as previsões climáticas se confirmem.

Costa, Martorano e de Moraes (2013) estudaram o potencial erosivo das chuvas e suas implicações para a produção de grãos em Paragominas, Pará. O estudo ressaltou a importância de práticas de manejo sustentável para mitigar os impactos da erosão hídrica exacerbada pelas mudanças climáticas. Pieper (2020) analisou os elementos climáticos e suas influências na produção de grãos na região norte do Mato Grosso, destacando a necessidade de monitoramento climático contínuo para ajustar as práticas agrícolas e melhorar a produtividade.

Conke e Seleme (2009) investigaram a percepção da indústria da soja no Paraná sobre as mudanças climáticas, revelando um baixo nível de compreensão e incorporação das questões climáticas na agenda estratégica das organizações. Leite, Federizzi e Bergamaschi (2012) discutiram os efeitos da temperatura do ar sobre a fenologia da aveia no Sul do Brasil, enfatizando como oscilações térmicas e mudanças nos padrões fenológicos podem impactar os sistemas de produção agrícola. A discussão conjunta desses estudos evidencia que os impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos são multifacetados e regionais, requerendo abordagens adaptativas específicas que considerem as particularidades de cada bioma e cultura agrícola. A adaptação às mudanças climáticas é crucial para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção agrícola

Seguindo com as análises, avaliou-se nos 15 artigos as estratégias de mitigação das mudanças climáticas aplicadas na produtividade de grãos. Esta análise não apresentou dados repetidos para quantificação, sendo possível realizar apenas uma análise descritiva, como apresentada na tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Estratégias de mitigação das mudanças climáticas aplicadas na produtividade de grãos observados nos artigos selecionados.

ARTIGO	ESTRATÉGIA	DESCRIÇÃO
Angelotti <i>et al.</i> (2011)	Manejo correto do solo	Redução da emissão de gases do efeito estufa através de práticas de manejo sustentável do solo no Semiárido brasileiro.
Angelotti <i>et al.</i> (2011)	Melhoramento genético	Uso de variedades de plantas mais resistentes às condições climáticas adversas, como secas prolongadas.
Angelotti <i>et al.</i> (2011)	Captação de água de chuva	Implementação de sistemas de captação de água para uso em períodos de seca, minimizando a escassez hídrica.
Angelotti <i>et al.</i> (2011)	Integração lavoura-pecuária-floresta	Sistemas integrados que aumentam a eficiência do uso da terra e reduzem as emissões de gases do efeito estufa.

Walter <i>et al.</i> (2010, 2014)	Ajuste do calendário de semeadura	Adaptação das datas de semeadura de culturas como arroz irrigado para otimizar o rendimento sob diferentes cenários climáticos.
Schembergue <i>et al.</i> (2017)	Sistemas agroflorestais (SAFs)	Uso de SAFs para aumentar a resiliência às mudanças climáticas, melhorar o desempenho agrícola e a qualidade do solo.
Da Silva <i>et al.</i> (2015)	Uso de modelos climáticos e de crescimento de plantas	Aplicação de modelos para prever e planejar a produção agrícola em resposta às mudanças climáticas.
Costa <i>et al.</i> (2013)	Práticas de manejo sustentável	Implementação de práticas de manejo do solo para reduzir o impacto da erosão hídrica em áreas agrícolas.
Walter <i>et al.</i> (2010)	Variedades de cultivares ajustadas	Desenvolvimento e uso de cultivares de arroz com diferentes ciclos de maturação para maximizar o rendimento em condições variáveis.
De Andrade <i>et al.</i> (2018)	Inserção de viés ambiental na atividade agrícola	Integração de práticas agrícolas que visam a sustentabilidade ambiental e a redução dos impactos das mudanças climáticas.

Fonte: elaboração própria (2024).

A discussão sobre as estratégias de mitigação das mudanças climáticas aplicadas na produtividade de grãos é essencial para garantir a sustentabilidade da agricultura frente aos desafios impostos pelas alterações climáticas. Diversos estudos têm abordado diferentes estratégias de mitigação e adaptação que podem ser implementadas para reduzir os impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola. Silva *et al.* (2013) destacam a importância de monitorar e ajustar as práticas agrícolas com base nas condições climáticas. O estudo realizado em Pedro Afonso-TO mostrou que a baixa pluviosidade e as altas temperaturas impactaram negativamente a produtividade de soja, ressaltando a necessidade de técnicas que ajudem a manter a umidade do solo e reduzir o estresse hídrico das plantas. Nesse contexto, a adaptação das práticas agrícolas é fundamental para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Assad (2021) enfatiza a importância de desenvolver sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas. O autor sugere que a adaptação e a evolução das práticas agrícolas são

cruciais para enfrentar os desafios climáticos. A introdução de culturas mais resilientes e a utilização de tecnologias avançadas para a agricultura são algumas das estratégias propostas, complementando a necessidade de monitoramento climático destacada por Silva *et al.* (2013). Da Silva *et al.* (2015) utilizam o modelo STICS para avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre a produção de milho no Cerrado brasileiro. O estudo sugere que a adoção de sistemas de manejo como o plantio direto e a utilização de previsões climáticas sazonais podem ajudar os agricultores a identificar as melhores épocas de semeadura, minimizando os riscos associados às variabilidades climáticas. Isso mostra que a adaptação das práticas agrícolas deve ser complementada por ferramentas tecnológicas e de previsão climática.

Félix *et al.* (2020) discutem as opções de mitigação das emissões causadas por atividades agrícolas e as oportunidades associadas a elas. O estudo sugere a necessidade de pesquisas para diferentes manejos e tratamentos no ambiente de plantações e criação de animais, visando a sustentabilidade e a redução dos impactos ambientais. Essa abordagem ressalta a importância de uma visão holística na gestão agrícola, considerando tanto a produção quanto os impactos ambientais.

Angelotti, Fernandes Júnior e Sa (2011) destacam diversas medidas de mitigação e adaptação no Semiárido brasileiro, como o manejo correto do solo, a redução de emissão de metano em ruminantes e a integração lavoura-pecuária-floresta. Essas medidas são fundamentais para reduzir a emissão dos gases do efeito estufa e melhorar a resiliência das práticas agrícolas, alinhando-se às propostas de manejo sustentável discutidas por Félix *et al.* (2020).

Walter *et al.* (2014) e Walter, Rosa e Streck (2010) exploram o uso de modelos de simulação para projetar o rendimento de grãos em cenários de mudanças climáticas. Os estudos demonstram que ajustar o calendário de semeadura e selecionar cultivares adequadas podem mitigar os impactos das mudanças climáticas no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Esses resultados reforçam a importância da tecnologia e da ciência na adaptação das práticas agrícolas.

Schembergue *et al.* (2017) aponta que os SAF's podem melhorar o desempenho agrícola e reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas, integrando árvores e culturas agrícolas em um sistema sustentável. Essa abordagem inovadora complementa as medidas de manejo e adaptação já discutidas, oferecendo uma estratégia adicional para aumentar a resiliência agrícola.

De Andrade *et al.* (2018) ressaltam a importância de práticas sustentáveis para mitigar os impactos das mudanças climáticas na produção vegetal e animal. O estudo destaca a necessidade de inserir o viés ambiental na atividade agrícola para reduzir os impactos ao meio ambiente. Essa perspectiva é crucial para garantir a sustentabilidade a longo prazo da produção agrícola.

Massignam *et al.* (2015) sugere em seu estudo que ajustes no calendário de semeadura e no zoneamento agrícola como estratégias para mitigar os impactos das mudanças climáticas. Esses ajustes são essenciais para garantir que as práticas agrícolas sejam adaptadas às novas realidades climáticas. Nascimento Cintra, Pereira de Melo e Silva de Menezes (2020) realizam uma revisão bibliográfica sobre os impactos das mudanças climáticas na produtividade de plantas graníferas no Brasil. O estudo enfatiza a importância de monitorar as condições climáticas e adaptar as práticas agrícolas para minimizar as perdas de produtividade. Essa revisão complementa os estudos anteriores, destacando a necessidade contínua de adaptação e monitoramento.

Costa, Martorano e de Moraes (2013) destacam a necessidade de práticas de manejo sustentável para mitigar os impactos da erosão hídrica exacerbada pelas mudanças climáticas no polo de produção de grãos de Paragominas, Pará. O uso de técnicas de conservação do solo é essencial para garantir a sustentabilidade da produção agrícola, alinhando-se às práticas de manejo discutidas por outros autores.

Pieper (2020) discute a influência dos elementos climáticos na produção de grãos na região norte do Mato Grosso, ressaltando a importância de monitorar as variáveis climáticas e ajustar as práticas agrícolas para melhorar a produtividade. Esse estudo reforça a importância de uma abordagem adaptativa e baseada em dados para a gestão agrícola.

Conke e Seleme (2009) investigam a percepção da indústria da soja no Paraná sobre as mudanças climáticas, destacando a necessidade de aumentar a compreensão e a incorporação das questões climáticas na agenda estratégica das organizações. Essa percepção é fundamental para garantir que as estratégias de mitigação e adaptação sejam adotadas de forma eficaz.

Leite, Federizzi e Bergamaschi (2012) discutem os efeitos da temperatura do ar sobre a fenologia da aveia no Sul do Brasil, enfatizando a importância de monitorar as oscilações térmicas e ajustar as práticas agrícolas para mitigar os impactos das mudanças climáticas. Esse estudo complementa a discussão sobre a adaptação das práticas agrícolas às mudanças climáticas.

As estratégias de mitigação das mudanças climáticas na produtividade de grãos envolvem a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, o uso de tecnologias avançadas, a adaptação das culturas e o ajuste dos calendários de semeadura. A implementação dessas estratégias é crucial para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção agrícola

Conclusão

Diante dos impactos cada vez mais evidentes das mudanças climáticas sobre a agricultura, este trabalho evidenciou como tais alterações, expressas em secas prolongadas, inundações e mudanças nos ciclos de crescimento das plantas, comprometem diretamente a produtividade de grãos e, conseqüentemente, a segurança alimentar global e a estabilidade econômica das regiões agrícolas.

As estratégias de mitigação, como o manejo do solo, o melhoramento genético de cultivares, a captação de água e a adoção de sistemas agroflorestais, destacaram-se como ferramentas indispensáveis para minimizar os impactos adversos. Além disso, o uso de modelos climáticos mostrou-se essencial para planejar e antecipar os efeitos das mudanças ambientais, permitindo maior precisão na gestão agrícola.

Este estudo também reforça a importância de políticas públicas que fomentem práticas agrícolas sustentáveis e a redução de emissões de gases de efeito estufa, proporcionando suporte técnico e financeiro aos agricultores para que possam adaptar-se às novas realidades climáticas. Paralelamente, a conscientização e a educação dos produtores rurais sobre o manejo sustentável revelaram-se elementos chave para fortalecer a resiliência das comunidades agrícolas e assegurar a continuidade da produção alimentar.

Portanto, conclui-se que a interseção entre ciência, política e ações sociais coordenadas é fundamental para enfrentar os desafios climáticos de forma eficaz. Apenas por meio de esforços integrados será possível promover sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes, capazes de garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade econômica para as gerações atuais e futuras.

Referências

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SA, IB de. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física** 06, 2011.

ASSAD, E. D. Sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 35-40, 2021.

CONKE, L. S.; SELEME, A. OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: A OPINIÃO DA INDÚSTRIA DA SOJA DO PARANÁ. **XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia** – 2009.

COSTA, D., MARTORANO, L. G., DE MORAES, J. D. S. Potencial erosivo e índice de anomalias de chuvas no polo de produção de grãos de Paragominas, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 18.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 2013, Belém, PA. **Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia**. [Belém, PA: UFPA], 2013

DA SILVA, F. A. M. da; AFFHOLDER, F.; CORBEELS, M.; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V. Uso do modelo STICS para avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre a produção de grãos de milho no cerrado brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19., 2015, Lavras. **Agrometeorologia no século 21: o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros: anais**. Lavras: UFLA, 2015., 2015.

DE ANDRADE, R. W. N.; FÉLIX, A. S.; MELO, D. F.; SANTOS, A. M.; FURTADO, D. A.. IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO VEGETAL E ANIMAL NO BRASIL. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 6: Congestas** 2018.

FÉLIX, A. S.; NASCIMENTO, J. W. B.; MELO, D. F.; FURTADO, D. A.; SANTOS, A. M.. Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 397-409, 2020.

LEITE, J.G.D.B; FEDERIZZI, L. C.; BERGAMASCHI, H. Mudanças climáticas e seus possíveis impactos aos sistemas agrícolas no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 337-343, 2012.

MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C.; RICCE, W. S.; SANTI, A.; MACHADO, L. N.. Impacto das mudanças climáticas para o período futuro 2071-2100 no zoneamento do milho no Sul do Brasil. **Agropecuária Catarinense**, v. 28, n. 2, p. 55-60, 2015.

NASCIMENTO CINTRA, P.H.; PEREIRA DE MELO, O.F.; SILVA DE MENEZES, J. O. Produção agrícola: uma revisão bibliográfica sobre as mudanças climáticas e produtividade de plantas graníferas no brasil. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, 2020.

PIEPER, V.E. Análise dos elementos climáticos e suas influencias em área agricola na região norte do Mato Grosso. **Revista Mato-Grossense de Geografia**, v. 18, n. 01, p. 69-82, 2020.

SCHEMBERGUE, A.; CUNHA, D. A.; MATOS, S.; PIRES, C. M. V.; FARIA, R. M. Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil 2. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, p. 9-30, 2017.

SILVA, A. A. F.; SOUZA, L. B. Estudo dos impactos do ritmo pluvial no balanço hídrico climatológico para a primavera-verão 2006/2007: a relação entre clima e produtividade de soja em Pedro Afonso–TO. **Revista Interface (Porto Nacional)**, n. 06, 2013.

WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ROSA, H. T.; FERRAZ, S. E. T.; CERA, J. C. Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 915-924, 2014.

WALTER, L.C.; ROSA, H.T. STRECK, N.A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1237-1245, 2010.