

**Agricultura irrigada e efeitos econômicos regionais: evidências sobre a produção,
emprego e uso da terra**

***Irrigated Agriculture and Regional Economic Effects: Evidence on Production,
Employment, and Land Use***

Ronaldo Torres

Pesquisador no IGPP. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

Giovani William Gianetti

Coordenador de Pesquisa Econômica no IGPP. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

Rodrigo Fernando Maule

Coordenação Executiva no IGPP. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

GT7. Desenvolvimento rural, territorial e regional

Resumo: Este estudo avalia os efeitos dinâmicos da irrigação na estrutura produtiva regional, sobre produto, emprego e uso da terra em regiões geográficas imediatas estratégicas da agricultura irrigada brasileira. Regiões com elevada relevância no contexto nacional da agricultura irrigada foram selecionadas, as quais concentram 37,1% da área irrigada por pivô central do país, embora representem apenas 11,1% da área agrícola. A estratégia empírica baseou-se em modelos de Vetores Autorregressivos em Panel, complementados por testes de causalidade de Granger, funções impulso resposta e decomposição da variância do erro de previsão. Os resultados indicam que a irrigação exerce efeitos positivos e estatisticamente significativos sobre o VAB agropecuário, a proporção da área agrícola, o emprego agropecuário e o valor da produção de culturas temporárias. As funções impulso resposta mostram que um choque de 1 desvio padrão na área irrigada, equivalente a 1.567 hectares da área irrigada média municipal, eleva no período seguinte o VAB agropecuário em R\$ 8,27 milhões, a produtividade média das culturas temporárias em R\$ 164,58 por hectare e o emprego formal em nove postos de trabalho. Em que a irrigação pode atuar como fator estratégico de dinamização produtiva, fortalecimento da renda e ampliação da resiliência dos sistemas agropecuários.

Palavras-chave: Desenvolvimento rural, Produtividade agropecuária, Emprego.

Abstract: This study evaluates the dynamic effects of irrigation on the regional productive structure, output, employment, and land use in immediate geographic regions that are strategic for Brazilian irrigated agriculture. Regions of high relevance in the national context of irrigated agriculture were selected, accounting for 37.1% of the country's center pivot irrigated area, although they represent only 11.1% of the agricultural area. The empirical strategy was based on Panel Vector Autoregressive models, complemented by Granger causality tests, impulse response functions, and forecast error variance decomposition. The results indicate that irrigation has positive and statistically significant effects on agricultural gross value added, the proportion of agricultural land, agricultural employment, and the value of temporary crop production. The impulse response functions show that a one standard deviation shock in irrigated area, equivalent to 1,567 hectares of the average municipal irrigated area, increases in the following period agricultural gross value added by R\$ 8.27 million, the average productivity of temporary crops by R\$ 164.58 per hectare, and formal employment by nine jobs. Thus, irrigation may act as a strategic factor for productive dynamization, income strengthening, and increasing the resilience of agricultural systems.

Keywords: Rural development, Agricultural productivity, Employment.

1. Introdução

A irrigação, segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024), é definida como o uso de equipamentos e técnicas destinados a suprir total ou parcialmente a necessidade hídrica das plantas, compensando a insuficiência de água proveniente de fontes naturais. Essa prática depende de diversos fatores, como o tipo de cultura, a fase de desenvolvimento da planta e as condições climáticas locais. Os métodos de irrigação podem ser classificados de acordo com a forma de aplicação da água, sendo os quatro principais: irrigação superficial, irrigação subterrânea, irrigação por aspersão e irrigação localizada. Cada um desses métodos possui sistemas específicos de aplicação, como o sistema por inundação na irrigação superficial; o pivô central, amplamente utilizado na irrigação por aspersão; e o sistema de gotejamento, comum tanto nos métodos localizados quanto nos subterrâneos.

A irrigação no Brasil desempenha um papel crucial no setor agrícola, especialmente no contexto da crescente demanda por alimentos e dos desafios impostos pelas mudanças climáticas. Segundo dados do ANA (2021), o uso de sistemas de irrigação tem contribuído para a expansão de áreas agricultáveis e a intensificação da produção agrícola. No país, a agricultura irrigada ocupa aproximadamente 8,19 milhões de hectares, com destaque para o uso de pivô central, que abrange 29,4% da área irrigada, seguido pela irrigação por inundação, com 24,64%, predominantemente usada em áreas de cultivo de arroz em terras baixas.

O Brasil ainda apresenta um grande potencial para a expansão da agricultura irrigada, com cerca de 55,85 milhões de hectares de terras aptas para essa prática, sendo 26,69 milhões de hectares em áreas agrícolas de sequeiro, 26,73 milhões em pastagens e 2,43 milhões em áreas agropecuárias com disponibilidade hídrica subterrânea (ANA, 2024). No entanto, atualmente, apenas cerca de 9 milhões de hectares são irrigados, um potencial expressivo para expansão da agricultura irrigada. Esse cenário destaca a necessidade de estudos aprofundados para subsidiar políticas públicas e direcionar investimentos privados para o desenvolvimento sustentável do setor, especialmente nas regiões com maior potencial, como o Centro-Oeste, Sul e Sudeste.

Logo, o objetivo central foi quantificar e evidenciar os impactos socioeconômicos associados à prática da agricultura irrigada no Brasil. Dessa forma, por meio de modelos econométricos de Vetores Autorregressivos em Painel (PVAR), investigaram-se as interações dinâmicas entre a irrigação e variáveis-chave, como o VAB agropecuário, o emprego rural e o crédito agrícola.

O presente trabalho está dividido em quatro seções, além desta introdução. Na segunda seção, apresenta-se a revisão de literatura; na terceira, descrevem-se os procedimentos metodológicos; na quarta, analisam-se e discutem-se os resultados em duas subseções, sendo que a primeira apresenta as regiões selecionadas e sua caracterização, enquanto a segunda expõe os resultados do modelo; por fim, apresentam-se as conclusões.

2. Revisão da Literatura

A literatura recente sobre irrigação no Brasil mostra que o tema deixou de ser visto apenas como tecnologia de aplicação de água, passando a ser analisado também como vetor de modernização produtiva, adaptação climática, ordenamento territorial e desenvolvimento regional. Nesse contexto, os levantamentos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico consolidaram uma referência central ao indicar que a agricultura irrigada brasileira alcançou, em 2019, cerca de 8,2 milhões de hectares e que o país dispõe de potencial adicional de expansão, estimado em 55,85 milhões de hectares de área adicional irrigável (ANA, 2021). Esse diagnóstico reforça a necessidade de estudos capazes de compreender não apenas onde a irrigação cresce, mas também quais efeitos ela produz sobre a dinâmica econômica do meio rural.

Nessa mesma direção, o estudo do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR, 2020), intitulado Plano de Ação Imediata para a Agricultura Irrigada no Brasil, mostra que o país dispõe de potencial para o avanço da agricultura irrigada, com possibilidade tanto de intensificação em áreas agrícolas já consolidadas quanto de expansão sobre áreas de pastagem. Além disso, o território apresenta forte heterogeneidade regional, com maior destaque para o Centro-Oeste e o Sudeste e menor potencial relativo no Nordeste. Nesse sentido, o estudo reforça que o desenvolvimento da irrigação no Brasil deve ser orientado por uma abordagem territorial integrada, que considere simultaneamente a disponibilidade hídrica, a infraestrutura, o uso da terra e o estágio de consolidação da atividade.

De forma complementar, Carvalho *et al.* (2020) mostram que a irrigação no Brasil apresentou expansão em todas as grandes regiões do país, com predomínio dos métodos por aspersão e avanço de sistemas mais tecnificados, como o pivô central, especialmente em estabelecimentos de maior escala. Os autores também evidenciam que esse processo ocorreu de forma regionalmente desigual, com maior destaque para o Sudeste e para estados como Minas Gerais, onde a difusão do pivô central teve papel importante. Assim, a evolução da irrigação no Brasil reflete não apenas a ampliação do uso da técnica, mas também o avanço da

modernização produtiva, da infraestrutura e da adaptação dos sistemas às diferentes condições regionais de produção.

Além de seus efeitos sobre a organização produtiva e territorial, a irrigação também tem sido tratada como instrumento de adaptação às mudanças climáticas. Battisti et al. (2024), ao analisarem a demanda de irrigação de frutíferas em cenário de mudança climática em Goiás, identificam tendência de aumento da necessidade hídrica, o que reforça a importância de estratégias de manejo e de maior eficiência no uso da água. Em perspectiva complementar, Borba et al. (2023), ao revisarem a difusão de tecnologias no semiárido e na Caatinga, mostram que o debate recente passou a associar irrigação, inovação tecnológica e resiliência produtiva em contextos de maior escassez hídrica. Em conjunto, esses estudos indicam que a irrigação tende a assumir papel cada vez mais central na redução do risco produtivo, sobretudo em regiões mais expostas à variabilidade climática.

No campo dos efeitos econômicos e distributivos, Casagrande *et al.* (2024) mostram que o Programa Segunda Água elevou significativamente a renda de agricultores familiares no Brasil, com efeitos mais intensos entre produtores de menor renda, menor escala e localizados em municípios menos chuvosos. Além disso, os autores indicam que esses ganhos decorrem do aumento da produção e da produtividade, reforçando que a ampliação do acesso à água para fins produtivos pode reduzir vulnerabilidades e fortalecer a renda rural.

Dessa forma, o presente estudo busca investigar as interações dinâmicas entre irrigação, VAB agropecuário, emprego rural e crédito agrícola no Brasil, de modo a aprofundar a compreensão sobre os efeitos socioeconômicos da agricultura irrigada. Com isso, a pesquisa procura contribuir para a literatura recente ao incorporar uma dimensão econômica mais ampla ao debate, evidenciando como a irrigação se relaciona com variáveis centrais da estrutura produtiva rural, para além dos aspectos técnicos, territoriais e hídricos já amplamente discutidos.

3. Metodologia

Para a escolha das regiões nas quais seriam realizadas as análises, a seleção das regiões geográficas imediatas (RIs) consideradas neste estudo seguiu critérios que refletem a relevância dessas áreas no contexto nacional da agricultura irrigada. Foram considerados quatro indicadores principais: (i) percentual de área ocupada por atividades agropecuárias; (ii) participação relativa da irrigação sobre a área agropecuária total; (iii) variação recente da área agropecuária no período de 2016 a 2023; e (iv) projeções de potencial de incremento da área

irrigada até 2040. Para garantir comparabilidade entre os critérios, cada variável foi padronizada e ranqueada individualmente. Em seguida, foi construído um ranking geral composto, com pesos iguais de 25% para cada indicador. O escore final de cada região foi determinado pela soma ponderada dos valores padronizados dos quatro critérios, o que permitiu identificar e classificar as regiões de maior destaque em múltiplas dimensões da agricultura irrigada.

Além disso, adotou-se como critério limiar a seleção de, no máximo, duas regiões imediatas por macrorregião, à exceção da Região Norte. Ainda, a escolha das regiões dentro de cada macrorregião priorizou aquelas pertencentes ao mesmo estado da federação, favorecendo a consistência das análises comparativas dentro de um mesmo contexto estadual. Por fim, foram selecionadas as regiões imediatas classificadas até a 10^a posição no ranking geral.

Inicialmente, apresenta-se uma descrição detalhada dos municípios que compõem as regiões selecionadas, destacando o percentual de participação da área irrigada em relação ao total da área agrícola. Posteriormente, foi realizada uma análise descritiva com base na segmentação dos municípios nas regiões imediatas selecionadas, comparando-as com as demais regiões imediatas do Brasil. Essa estratificação permite a construção de médias e padrões comparativos entre grupos, possibilitando a identificação de tendências e a caracterização de perfis territoriais distintos.

Para compreender como a irrigação tem impactado o VAB agropecuária, percentual da área agrícola, o emprego rural, a demanda por crédito rural e o valor de produção das culturas temporárias, em média, para os municípios brasileiros selecionados para esta análise, este estudo buscou estimar não apenas os efeitos diretos, mas também como esses fatores interagem de forma dinâmica entre si.

Para isso, partiu-se da relação proposta por Borges e Parré (2022), que investigaram a influência da contratação de crédito rural sobre o crescimento do produto agropecuário brasileiro por meio de modelos de Vetores Autorregressivos (VAR) e testes de causalidade de Granger para estimar elasticidades e relações dinâmicas. Nesta abordagem, estende-se para analisar principalmente a relação dinâmica entre a irrigação e demais variáveis.

Para investigar a direção da relação causal entre as variáveis analisadas, foi aplicado o teste de causalidade de Granger em painel. Esse teste verifica se as defasagens de uma variável ajudam a prever o comportamento futuro de outra, permitindo identificar causalidade unidirecional, bidirecional ou ausência de causalidade entre as variáveis consideradas no modelo (Dumitrescu e Hurlin, 2012).

Para avaliar essa relação dinâmica, utilizou-se a metodologia dos Vetores Autorregressivos em Painel (PVAR), que combina a flexibilidade dos modelos VAR tradicionais com as vantagens dos dados em painel, permitindo controlar heterogeneidades não observadas entre municípios e capturar interdependências temporais entre variáveis econômicas, conforme proposto por Holtz-Eakin et al. (1988). Esta modelagem permite p defasagens, m variáveis endógenas, k variáveis pré-determinadas e n variáveis estritamente exógenos, considerando um modelo estacionário e com efeitos fixos formula-se a Equação em (4):

$$y_{i,t} = \mu_i + \sum_{l=1}^p A_l y_{i,t-l} + B X_{i,t} + C S_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

sendo que $y_{i,t} \in R^m$ sendo um vetor m x 1 de variáveis endógenas para i-ésima unidade de seção transversal no tempo t. E como $y_{i,t-1} \in R^m$ é um vetor m x 1 das variáveis endógenas defasadas; seguindo $X_{i,t} \in R^k$ um vetor k x 1 de variáveis predeterminadas que são potencialmente correlacionadas com erros passados. Tem-se em $S_{i,t} \in R^n$ um vetor n x 1 de variáveis estritamente exógenas que nem dependem de $\epsilon_{i,t}$ nem sobre ϵ_{t-s} para $s = 1, \dots, T$. Além disso, $\epsilon_{i,t}$ é independente e identicamente distribuído (i.i.d) para todo i e t.

No conjunto de variáveis exógenas do modelo, destacam-se características municipais relevantes, como qualidade média do solo e precipitação média por estação climática.

Em termos analíticos, o modelo PVAR possibilitou a obtenção das Funções Impulso-Resposta (IRFs), estimadas por meio do método de bootstrap proposto por Hall (1992). Além disso, o modelo permite realizar a decomposição da variância do erro de previsão, possibilitando a avaliação da importância relativa de cada variável na explicação dos erros de previsão do sistema.

Para a adequada estimação do modelo PVAR, é fundamental verificar algumas condições preliminares, tais como: (i) a ausência de raiz unitária nas séries temporais; (ii) a existência ou não de cointegração entre as variáveis; e (iii) a seleção do modelo e do número de defasagens apropriados (Wooldridge, 2006).

4. Resultados

4.1 Seleção e descrição das regiões de análise

A seleção das RIs analisadas neste estudo seguiu critérios previamente definidos que refletem a importância dessas áreas no contexto nacional da agricultura irrigada. Sendo as RIs

selecionadas apresentadas na Tabela 1. No Nordeste, as RIs escolhidas situam-se na Bahia (Barreiras e Santa Maria da Vitória); no Sudeste, em Minas Gerais (Unaí e Patos de Minas); no Centro-Oeste, foi selecionada a RI de Sorriso, no Mato Grosso; e, por fim, no Sul, foram incluídas duas RIs localizadas no Rio Grande do Sul (Cruz Alta e São Luiz Gonzaga).

Ainda para a Tabela 1, mostra diferentes perfis entre as regiões analisadas. As regiões do Rio Grande do Sul, como Cruz Alta e São Luiz Gonzaga, apresentam percentuais elevados de área agropecuária em relação ao total da área do município, alcançando 80,47% e 50,04%, respectivamente. Em Minas Gerais e Bahia, destacam-se Patos de Minas, Unaí, Barreiras e Santa Maria da Vitória, que possuem os maiores percentuais de área irrigada em relação à área agropecuária total, variando entre 5,57% e 8,53%. Observa-se ainda que Sorriso apresenta o maior potencial de incremento absoluto da área irrigada até 2040, com 212 mil hectares projetados, seguido por Patos de Minas (182 mil ha), Barreiras (149 mil ha) e Santa Maria da Vitória (117 mil ha).

Tabela 1 - Rank das Regiões Imediatas selecionadas.

Região imediata	RI	Agropecuária (%)		Irrigação (%) ¹		$\Delta\%$ ² agropecuária		Δ Irrig. Pivô ³		Rank geral
		(%)	Rank	(%)	Rank	$\Delta\%$	Rank	Δ ha	Rank	
Patos de Minas	MG	56,28	243	7,20	6	2,19	211	182.121	2	1
Sorriso	MT	55,33	253	2,52	30	2,14	212	212.127	1	2
Santa Maria da Vitória	MG	31,53	399	8,04	5	33,56	42	116.801	4	4
Barreiras	BA	42,08	333	5,57	10	21,43	78	149.535	3	5
Unaí	BA	46,60	304	8,53	4	3,79	189	97.629	5	6
Cruz Alta	RS	80,47	68	4,37	13	1,90	223	79.111	7	9
São Luiz Gonzaga	RS	50,04	287	5,64	9	19,01	83	58.521	9	10

Fonte: Elaboração própria com base nos dados MapBiomias (2025) e ANA (2018)

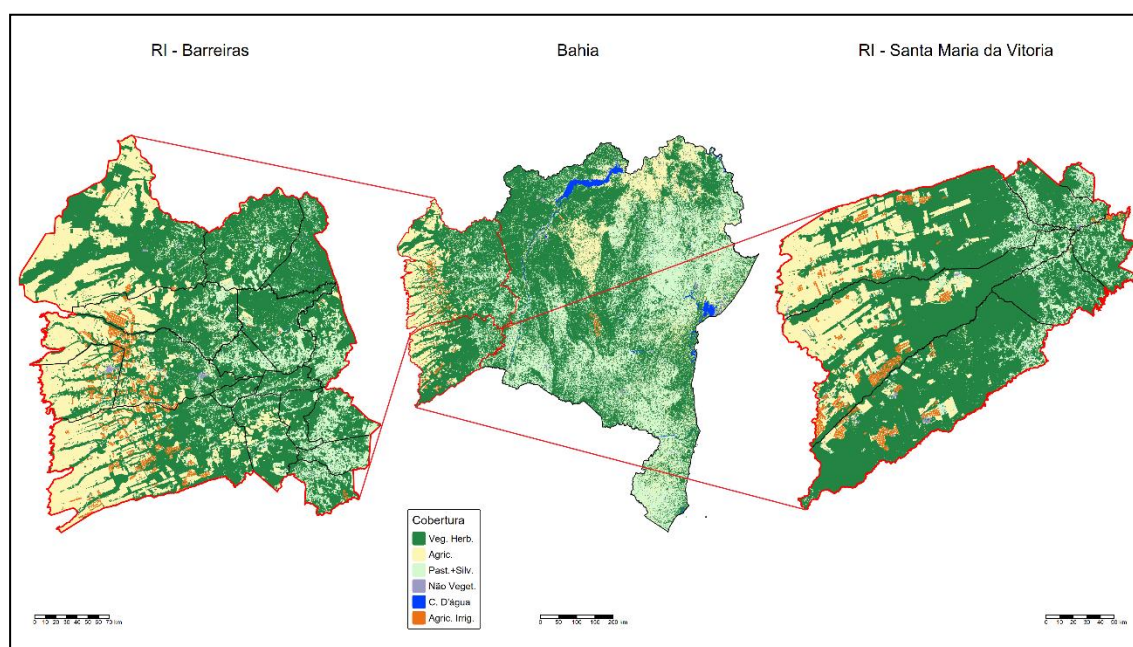
Nota: ¹Valor do percentual da irrigação por pivô correspondente a área total da agropecuária no ano de 2023; ²Variação da área agropecuária entre 2016 e 2023; ³Aumento da área irrigada por pivô central (ANA, 2024) refere-se às projeções para 2040, considerando outras culturas em pivôs centrais, excluindo arroz, café e cana-de-açúcar.

Iniciando a análise pela descrição dos municípios que compõem as RIs selecionadas, para Bahia (Figura 1), tem-se que, na RI Barreiras, os principais municípios são Santana (2,05 mil ha irrigados por pivô, 21,31% da área agrícola com irrigação), Barreiras (52,8 mil ha, 14,43%), Riachão das Neves (21,42 mil ha, 10,28%), São Desidério (75,54 mil ha, 9,94%), Luís Eduardo Magalhães (25,14 mil ha, 9,12%), Cotegipe (1,62 mil ha, 6,74%) e Wanderley (467

ha, 2,03%). Além disso, Formosa do Rio Preto (5,89 mil ha, 0,87%), Mansidão (44 ha, 0,83%), Serra Dourada (20 ha, 0,40%), Angical (32 ha, 0,4%) e Santa Rita de Cássia (37 ha, 0,07%) também possuem áreas irrigadas, mas em menor escala. Baianópolis, Brejolândia, Catolândia, Cristópolis e Tabocas do Brejo Velho não possuem áreas irrigadas.

Na RI Santa Maria da Vitória, os municípios que apresentam área irrigada por pivô incluem Cocos (24,96 mil ha irrigados, 28,01% da área agrícola com irrigação por pivô), São Félix do Coribe (2,83 mil ha, 24,78%), Jaborandi (44,56 mil ha, 13,08%), Santa Maria da Vitória (879 ha, 12,77%), Correntina (23,88 mil ha, 5,78%) e Coribe (299,88 ha, 4,45%). Já Canápolis não possui área irrigada.

Figura 1 - Áreas irrigadas e a ocupação do solo na Bahia e nas RIs selecionadas no ano de 2023.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do MAPABIOMAS (2025)

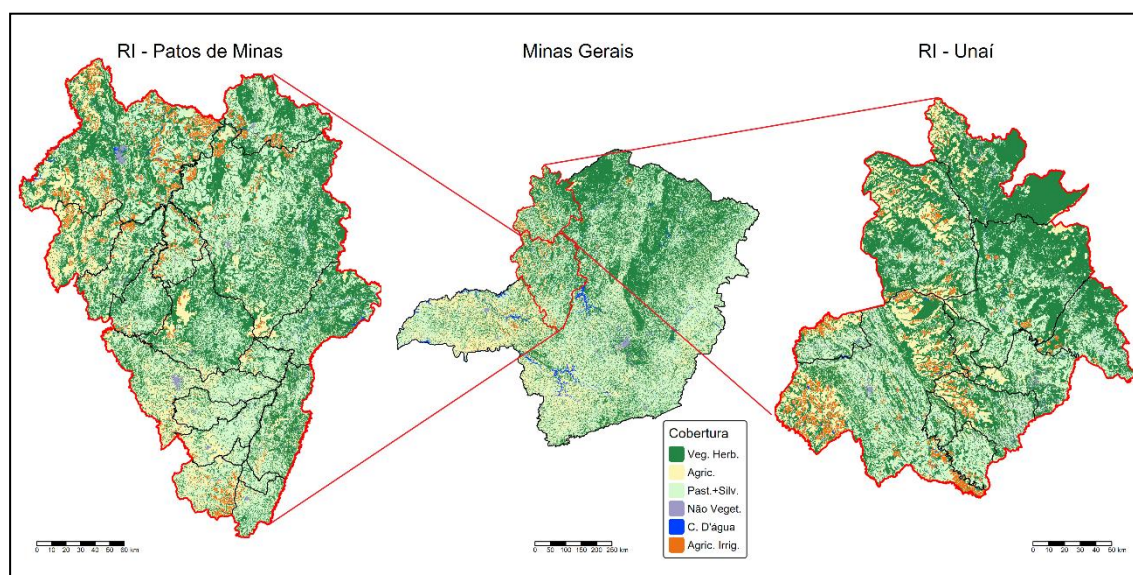
As RIs de MG incluem um total de 29 municípios, em que todos os municípios possuem área agrícola irrigada por pivô (Figura 2). Em termos gerais, a RI Patos de Minas tem uma área irrigada total de 175 mil hectares, representando 18,46% da área agrícola da região. Já a RI Unaí possui 123 mil hectares de área irrigada, o que representa 19,38% da área agrícola da região.

Na RI Patos de Minas, os municípios que apresentam áreas irrigadas por pivô incluem Lagoa Grande (10,45 mil ha, 44,79%), Brasilândia de Minas (10,20 mil ha, 42,96%), Paracatu (78,54 mil ha, 32,88%), João Pinheiro (21,47 mil ha, 17,73%), Vazante (6,24 mil ha, 17,00%),

Lagamar (3,33 mil ha, 16,26%), Guarda-Mor (13,10 mil ha, 14,42%), São Gotardo (1,94 mil ha, 12,65%), Presidente Olegário (4,57 mil ha, 7,47%), Matutina (157 ha, 4,59%), Patos de Minas (4,56 mil ha, 4,29%), Carmo do Paranaíba (1,25 mil ha, 3,58%), São Gonçalo do Abaeté (803 ha, 3,20%), Tiros (1,06 mil ha, 2,82%), Lagoa Formosa (586 ha, 2,18%) e Arapuá (37 ha, 1,21%).

Para a RI Unaí, os municípios que apresentam áreas irrigadas por pivô incluem Urucuiá (3,39 mil ha, 51,20%), Unaí (73,23 mil ha, 28,48%), Dom Bosco (2,17 mil ha, 19,94%), Cabeceira Grande (6,54 mil ha, 19,52%), Bonfinópolis de Minas (9,73 mil ha, 18,84%), Arinos (5,75 mil ha, 13,12%), Buritis (16,09 mil ha, 12,44%), Uruana de Minas (1,45 mil ha, 9,03%), Natalândia (585 ha, 8,71%), Formoso (3,97 mil ha, 7,28%) e Riachinho (394 ha, 1,53%).

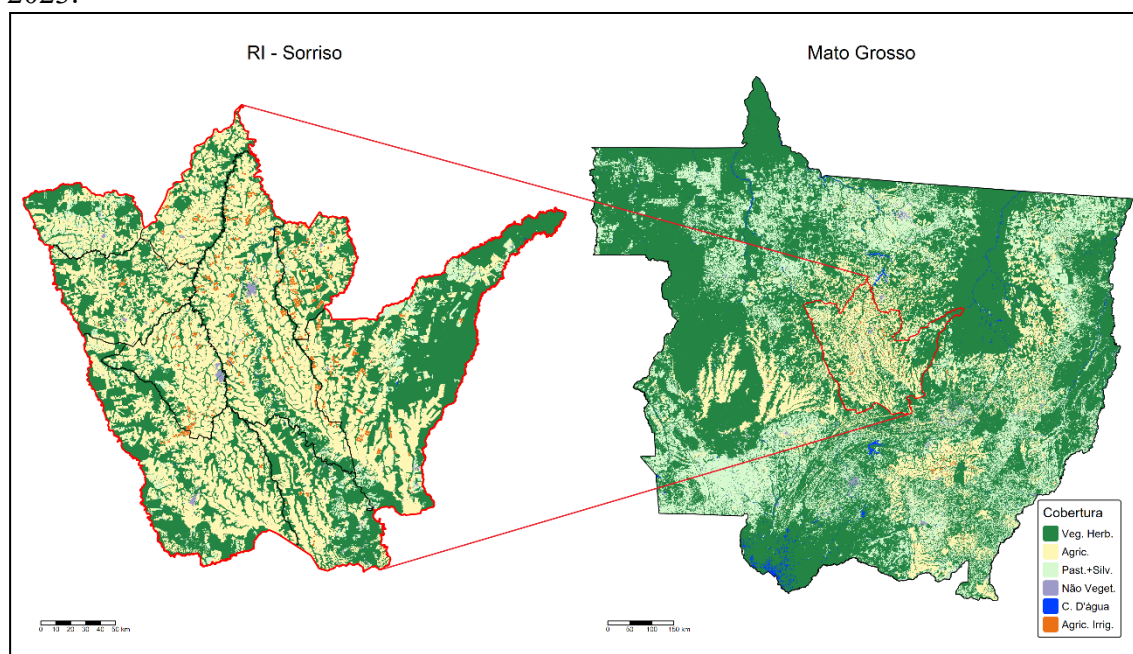
Figura 2 - Áreas irrigadas e a ocupação do solo em Minas Gerais e nas RIs selecionadas no ano de 2023.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do MAPABIOMAS (2025)

Em Mato Grosso, a RI Sorriso é composta por nove municípios, dos quais cerca de oito possuem agricultura irrigada por pivô, totalizando uma área irrigada de 74 mil hectares, o que representa 2,76% da área agrícola da região (Figura 3). Os municípios que apresentam áreas irrigadas incluem Vera (13,97 mil ha, 8,09%), Sorriso (25,77 mil ha, 4,17%), Nova Ubiratã (15,05 mil ha, 3,46%), Lucas do Rio Verde (7,54 mil ha, 3,03%), Ipiranga do Norte (3,77 mil ha, 1,71%), Tapurah (3,19 mil ha, 1,38%) e Santa Rita do Trivelato (1,98 mil ha, 1,06%). Já Nova Mutum (3,35 mil ha, 0,70%), enquanto Itanhangá não possui área irrigada.

Figura 3 - Áreas irrigadas e a ocupação do solo no Mato Grosso e na RI selecionada no ano de 2023.



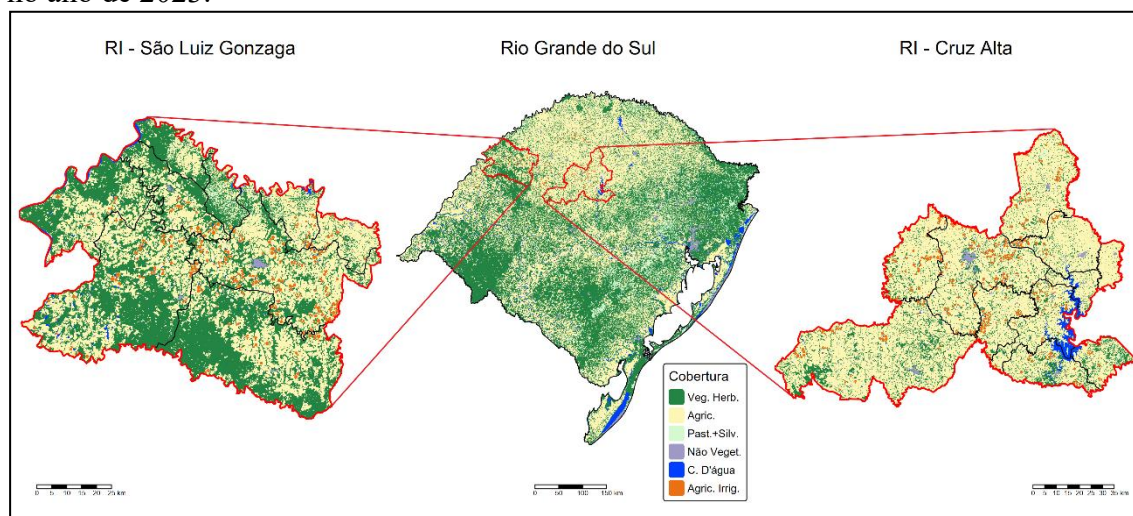
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do MAPABIOMAS (2025)

Em Rio Grande do Sul as RIs incluem um total de 20 municípios, em que apenas um município não possui área agrícola irrigada por pivô (Figura 4). Em termos gerais, a RI Cruz Alta tem uma área irrigada total de 29 mil hectares, representando 4,38% da área agrícola da região. Já a RI São Luiz Gonzaga possui 19 mil hectares de área irrigada, o que representa 5,75% da área agrícola da região.

A RI São Luiz Gonzaga abrange os municípios de São Luiz Gonzaga (9,29 mil ha, 11,03%), São Nicolau (1,68 ha, 6,84%), Santo Antônio das Missões (3,96 ha, 5,02%), Rolador (954 ha, 4,81%), Caibaté (761 ha, 3,73%), Bossoroca (2,26 ha, 3,51%), Dezesseis de Novembro (136 ha, 2,02%), Garruchos (577 ha, 1,76%) e Pirapó (35 ha, 0,35%).

Para a RI Cruz Alta os municípios com maiores áreas irrigadas por pivô incluem Cruz Alta (8,43 mil ha, 7,46%), Boa Vista do Cadeado (4,43 mil ha, 7,39%), Boa Vista do Incra (3,1 mil ha, 7,22%), Fortaleza dos Valos (2,23 mil ha, 4,87%), Salto do Jacuí (1,56 mil ha, 4,56%), Santa Bárbara do Sul (3,26 mil ha, 3,84%), Ibirubá (1,99 mil ha, 3,77%), Jacuizinho (537 ha, 2,43%) e Tupanciretã (3,48 mil há, 1,98%) e Quinze de Novembro (57 ha, 0,35%), enquanto que Selbach não possui área irrigada.

Figura 4 - Áreas irrigadas e a ocupação do solo no Rio Grande do Sul e nas RIs selecionadas no ano de 2023.

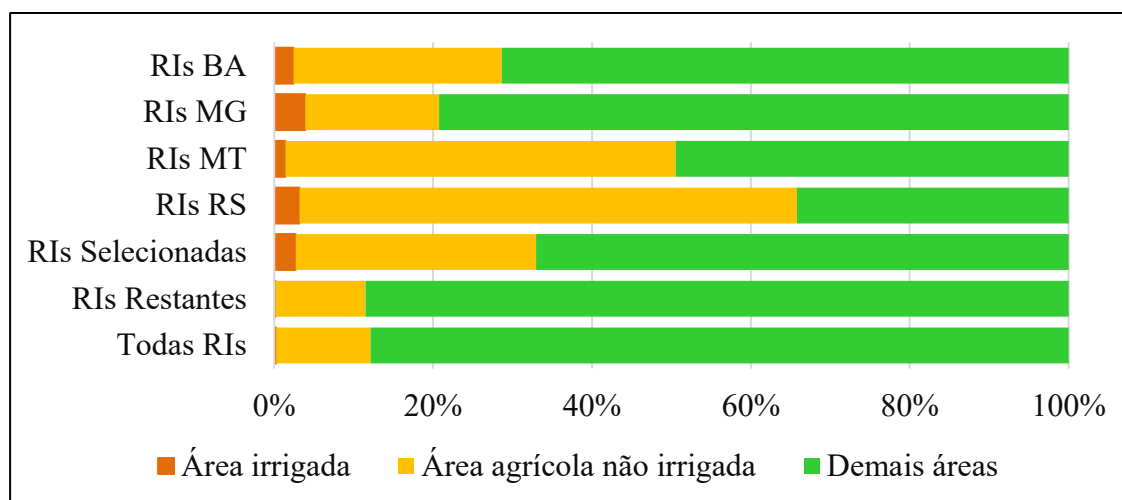


Fonte: Elaboração própria com base nos dados do MAPABIOMAS (2025)

Apresenta-se também a análise do percentual de área irrigada por pivô e área agrícola em relação à área total para cada RI selecionada (Figura 5). As RIs BA possuem 283 mil hectares irrigados por pivô, com 8,39% de sua área agrícola dedicada à irrigação. As RIs MG lideram com 298 mil hectares irrigados, alcançando 18,83% da área agrícola, enquanto a RI MT apresenta 75 mil hectares irrigados, o que equivale a 2,76% da sua área agrícola. As RIs RS contam com 49 mil hectares irrigados, representando 4,85% de sua área agrícola. No total, as RIs selecionadas somam 704 mil hectares irrigados por pivô, com uma média de 8,12% de sua área agrícola dedicada à irrigação.

Em comparação com as regiões não selecionadas no resto do Brasil, que possuem 1,19 milhões de hectares de área irrigada por pivô e 1,26% de participação da irrigação sobre a área agrícola, as RIs selecionadas apresentam um desempenho superior, com um percentual de área irrigada 6,4 vezes maior do que essas.

Figura 5 - Participação da área irrigada na ocupação do solo para o ano de 2023.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do MAPABIOMAS (2025)

4.2 Resultado dos modelos de avaliação dos impactos da irrigação

Para a estimação dos modelos, primeiro se testou a estacionariedade das séries, dado que é uma das condições requeridas para a estimação dos modelos PVAR. Com a aplicação do teste de raiz unitária do tipo Fisher, com base no teste Augmented Dickey–Fuller, cujos resultados são apresentados na Tabela 2. Todas as variáveis macroeconômicas analisadas apresentaram valores estatísticos com significância ao nível de 1%. Isso indica que as séries são estacionárias, não apresentando tendências espúrias ao longo do tempo e sendo adequadas para modelagem econométrica de painel.

Tabela 2 – Teste de Raiz Unitária do Tipo Fisher com Base no *Augmented Dickey–Fuller*

Variável	Estatística
Log (área irrigação ¹)	200,4459***
Log (% da área agrícola)	257,6753***
Log (VAB Agro.)	258,1599***
Log (trabalhadores Agro.)	258,6513***
Log (Crédito Agrícola)	274,7514***
Log (Vlr Prod. Temporárias ²)	275,7432***
Log (precipitação estação)	446,5759***
Log (Aptidão)	294,8698***

Fonte: Elaboração própria.

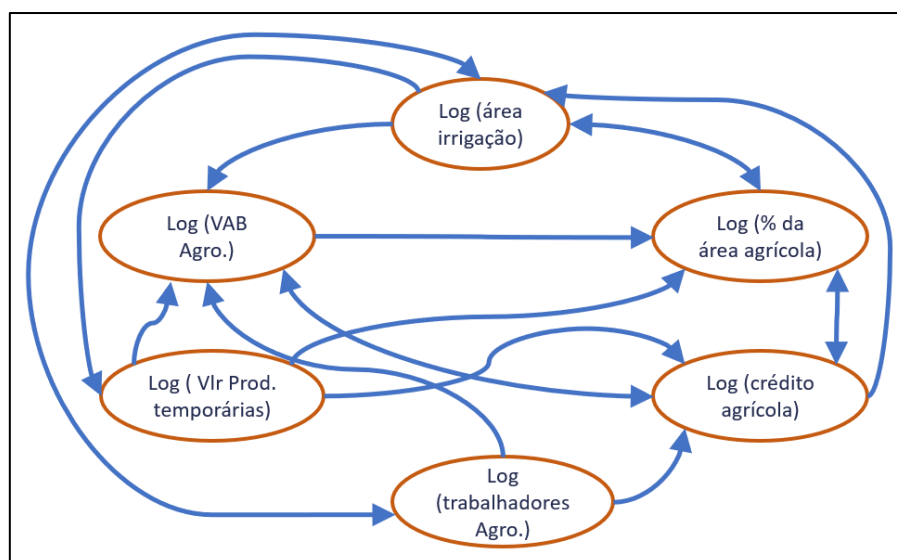
Nota: O teste avalia a hipótese nula de presença de raiz unitária (não estacionariedade) nas séries de dados. ***, **, * correspondem a significância estatística a 1%, 5% e 10%, respectivamente.¹Refere-se à irrigação por pivô e outros tipos de irrigação, com exceção da

irrigação por inundação.² O valor das culturas temporárias se refere as culturas: Abacaxi, Alfafa fenada, Algodão herbáceo, Alho, Amendoim, Arroz, Aveia, Batata-doce, Batata-inglesa, Cana-de-açúcar, Cana para forragem, Cebola, Centeio, Cevada, Ervilha, Fava, Feijão, Fumo, Girassol, Juta, Linho, Malva, Mamona, Mandioca, Melancia, Melão, Milho, Rami, Soja, Sorgo, Tomate, Trigo, Triticale.

A Figura 6 sintetiza os resultados dos testes de causalidade de Granger em painel aplicados às variáveis endógenas do modelo, ilustrando as direções estatisticamente significativas de influência entre elas. Observa-se que a área irrigada (log da área irrigada) apresenta causalidade Granger com o "VAB Agro.", o "Vlr Prod. Temporárias", "Trabalhadores Agro" e o "% da área agrícola". De maneira inversa, a área irrigada também sofre influência da causalidade de Granger de variáveis como "crédito agrícola", "% da área agrícola" e "trabalhadores Agro".

No caso do percentual de área agrícola (% da área agrícola), observa-se que ele exerce causalidade no sentido Granger sobre "área irrigada" e "crédito agrícola". Em relação ao crédito agrícola, este possui causalidade Granger sobre o "VAB agro.", "% da área agrícola" e "área irrigação". Já os "trabalhadores Agro" apresentam causalidade no sentido Granger com "VAB Agro." e "crédito agrícola". O "Vlr. Prod. Temporárias" também exerce causalidade Granger sobre "VAB Agro.", "% da área agrícola" e "crédito agrícola". Por fim, o "VAB Agro." influencia no sentido Granger apenas o "% da área agrícola".

Figura 6 – Testes de causalidade Granger em painel para as variáveis consideradas endógenas.



Fonte: Elaboração própria.

Nota: Foram consideradas as relações significativas a 10%. Teste de causalidade de Granger para painéis usando a estatística $\tilde{Z}$ ('Ztilde'), com número ótimo de defasagens selecionado pelo critério BIC.

Na Tabela 3, ao analisar a área irrigada como variável dependente, observa-se que a área irrigada no período anterior tem um impacto positivo significativo no presente, com coeficiente de 0,8841, o que significa que um aumento de 1% na área irrigada no período anterior resulta em um aumento de aproximadamente 0,88% na área irrigada atual. Além disso, o VAB Agro. também exerce influência positiva sobre a área irrigada (coeficiente de 0,2475), indicando que um aumento de 1% no VAB Agro. no período anterior resulta em um aumento de 0,25% na área irrigada. Por fim, o valor da produção temporária mostra uma relação negativa com a área irrigada (coeficiente de -0,1454), indicando que o aumento da produção temporária pode reduzir a área irrigada.

Ainda para a Tabela 3, tem-se os coeficientes da área irrigada sobre as demais variáveis, com os seguintes resultados. Em relação ao VAB Agro., a área irrigada no período anterior apresenta um coeficiente de 0,0977, indicando que um aumento de 1% na área irrigada resulta em um aumento de aproximadamente 0,10% no VAB Agro. Para a proporção da área agrícola, a área irrigada apresenta um coeficiente de 0,0296, sugerindo que um aumento de 1% na irrigação está associado a um aumento de 0,03% na proporção da área agrícola. No que diz respeito ao número de trabalhadores agropecuários, o coeficiente de 0,1345 sugere que a irrigação resulta em um aumento de 0,13% na mão de obra agropecuária, o que reforça a relação positiva entre irrigação e emprego no setor. Em relação ao crédito agrícola, o coeficiente de -0,3148 indica uma relação negativa, sugerindo que o aumento da área irrigada pode reduzir a dependência do crédito agrícola nas regiões mais irrigadas. Por fim, o impacto da área irrigada no valor da produção temporária é expressado por um coeficiente de 0,1924, indicando que um aumento de 1% na irrigação está associado a um aumento de 0,19% na produção de culturas temporárias.

Esses resultados reforçam a relevância da irrigação para o aumento da produtividade agrícola, o crescimento da área agrícola, a criação de empregos no setor agropecuário e o fortalecimento da produção de culturas temporárias. Ainda, quando se realiza o teste de cointegração, tem-se que é significativo em todas as equações, o que reforça a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis, validando o uso do painel VAR para interpretar os mecanismos dinâmicos e interdependentes no setor agrícola dos municípios das RIs selecionadas.

Tabela 3 – Resultados das estimativas do painel VAR

Explicativa	Log (VAB Agro.)	Log (área irrigação)	Log (% da área agrícola)	Log (trabalhadores Agro.)	Log (Crédito Agrícola)	Log (Vlr Prod. Temporárias)
Log (VAB Agro.)_t-1	0,2045**	0,2475**	-0,0382*	-0,0285	-0,1203	0,1735
Log (área irrigação)_t-1	0,0977*	0,8841***	0,0296**	0,1345***	-0,3148**	0,1924**
Log (% da área agrícola)_t-1	1,0456***	0,2289	0,8528***	-0,4526	3,2248***	-0,0591
Log (trabalhadores Agro.)_t-1	0,1997**	0,0117	0,0323	0,5576***	0,8229***	0,2271*
Log (Crédito Agrícola)_t-1	0,0652**	0,0272	-0,0092	-0,012	0,3514***	-0,0374
Log (Vlr Prod. Temporárias)_t-1	-0,1067	-0,1454*	0,0255	-0,0635	0,0696	-0,0038
Log (precipitação estação)_t-1	-0,102*	-0,0818	0,0621***	0,1456**	0,2916*	-0,1271*
Log (Aptidão)	-2,886	1,3842	-0,6698	4,4331	24,2703	-18,7322**
Teste de cointegração ¹	-3,7491***	2,4149***	-3,4744***	-2,4628***	-9,3277***	-9,5283***

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ***, **, * correspondem a significância estatística a 1%, 5% e 10%, respectivamente. ¹O teste de cointegração de Kao (Kao, 1999).

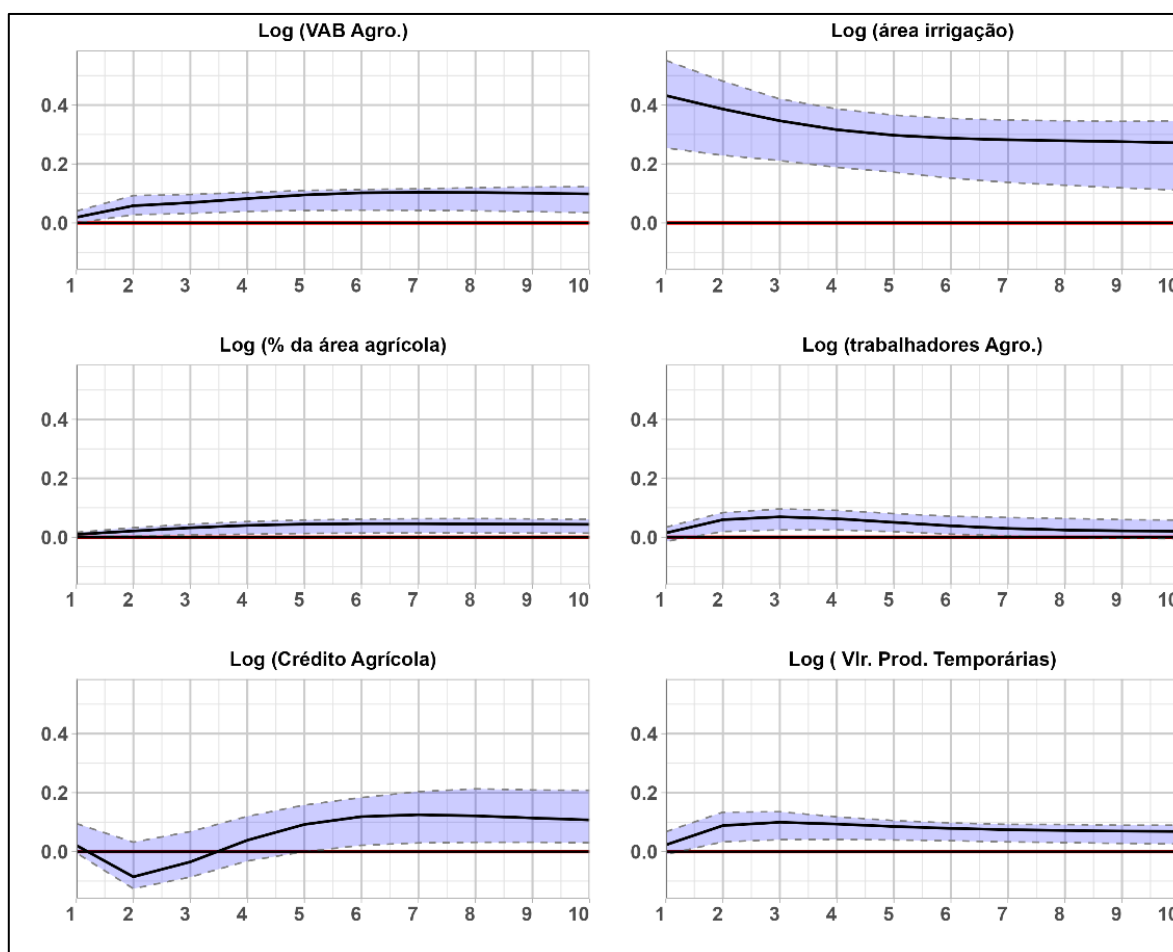
Na Figura 7, apresenta-se a análise de impulso-resposta da irrigação sobre as variáveis macroeconômicas. Considerando um choque inesperado de 1 desvio padrão na área irrigada, equivalente a 1.567 hectares, isto é, em média 28,7% de incremento, observa-se uma cadeia de efeitos representada no gráfico. O VAB Agro responde com uma elevação de 0,058 desvios padrão no período seguinte ao choque, o que representa um acréscimo monetário estimado em R\$ 8,27 milhões, mas atingindo R\$ 13,98 milhões no longo prazo.

De forma similar, a produtividade das culturas temporárias é impulsionada, com um incremento de 0,088 desvios padrão no valor de produção por hectare, equivalente a R\$ 164,58 adicionais, porém reduzindo para R\$ 127,42 no longo prazo. O mercado de trabalho rural também é beneficiado, com um aumento no período seguinte de 0,059 desvios padrão no número de trabalhadores, o que corresponde a aproximadamente 9 postos de trabalho, reduzindo-se para 3 postos de trabalho em 10 anos.

Apesar disto, o choque na irrigação apresentaria um efeito negativo sobre a demanda por crédito agrícola no curto prazo. A análise indica uma redução de 0,085 desvios padrão nesta variável, representando uma retração aproximada de R\$ 5,57 milhões na busca por financiamento. Contudo, no longo prazo, a demanda por crédito tende a se recuperar, atingindo o patamar de R\$ 7 milhões no último período.

Em síntese, os resultados demonstram que a expansão da irrigação possui efeitos positivos e diretos sobre a área cultivada, o valor da produção, a produtividade da terra e a geração de empregos. Contudo, a relação inversa inicial com o crédito agrícola sugere que, em um primeiro momento, o aumento da eficiência e da receita pode reduzir a necessidade imediata de financiamento por parte dos produtores.

Figura 7 - Impulso resposta dos efeitos da irrigação.



Fonte: Elaboração própria.

A análise da decomposição da variância do erro de previsão na Tabela 4 quantifica a importância relativa da irrigação para explicar as flutuações futuras das demais variáveis do sistema. Os resultados evidenciam que choques na área irrigada se tornam progressivamente mais relevantes ao longo do tempo. Para o VAB Agro., a parcela da variância explicada pela irrigação cresce de 0% para 34,37% no décimo período, o que indica que, no médio e longo prazo, a irrigação passa a desempenhar papel central nas oscilações da renda agropecuária. No caso da participação da área agrícola irrigada, o efeito é ainda mais expressivo, com a contribuição da irrigação subindo de 3,36% para 62,97%, sugerindo que esta variável é o principal determinante das mudanças na fronteira produtiva ao final do horizonte analisado.

Para o valor da produção de culturas temporárias e para o crédito agrícola, observa-se um efeito de magnitude moderada. No décimo período, choques na irrigação explicam 25,73% da variância do valor de produção e 10,43% da variância do crédito, sugerindo que, à medida

que a irrigação se consolida e estabiliza a produção, sua influência se torna mais relevante na produtividade e na dinâmica financeira das propriedades rurais.

Por fim, a participação da irrigação na explicação das flutuações do número de trabalhadores agropecuários cresce de 0,22% para 13,77% ao longo dos dez períodos. Esse resultado indica que, embora a irrigação esteja associada a ganhos de eficiência e ao uso intensivo de tecnologia, ela também exerce influência crescente sobre as variações na ocupação rural, contribuindo para a manutenção e possíveis expansões do emprego no setor, conforme as condições produtivas e tecnológicas vigentes.

Tabela 4 - Decomposição da variância nos efeitos da irrigação.

Ano	Log (VBP Agro.)	Log (área irrigação)	Log (% da área agrícola)	Log (trabalhadores Agro.)	Log (Crédito Agrícola)	Log (Vlr Prod. Temporárias)
1	0,0000	0,9966	0,0336	0,0022	0,0007	0,0003
2	0,0253	0,9783	0,0999	0,0348	0,0133	0,0426
3	0,0578	0,9654	0,1986	0,0712	0,0131	0,0935
4	0,0991	0,9542	0,3071	0,0981	0,0144	0,1338
5	0,1476	0,9439	0,4028	0,1142	0,0253	0,1645
6	0,1971	0,9350	0,4775	0,1233	0,0427	0,1888
7	0,2426	0,9280	0,5329	0,1287	0,0613	0,2091
8	0,2819	0,9228	0,5741	0,1324	0,0780	0,2268
9	0,3153	0,9189	0,6053	0,1352	0,0921	0,2427
10	0,3437	0,9160	0,6297	0,1377	0,1043	0,2573

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos neste estudo dialogam com a literatura ao evidenciar que a irrigação no Brasil não se limita a uma tecnologia de aplicação de água, mas se associa de forma dinâmica à ampliação da produção, da renda agropecuária e do emprego rural. Em linha com Carvalho et al. (2020), os achados mostram que a expansão da irrigação acompanha processos de modernização produtiva e reorganização do uso da terra, uma vez que o aumento da área irrigada esteve positivamente relacionado ao VAB agropecuário, ao percentual da área agrícola, ao número de trabalhadores agropecuários e ao valor da produção de culturas temporárias.

Além disso, os resultados também convergem com a literatura que trata a irrigação e o acesso à água como instrumentos de adaptação produtiva e redução de vulnerabilidades. Assim como em Battisti et al. (2024) e Ramos e Barros (2023), a irrigação aparece associada à necessidade de maior resiliência frente às restrições hídricas, ao passo que os efeitos positivos sobre produção e emprego indicam que sua adoção pode fortalecer a capacidade de resposta

dos sistemas produtivos. Em conjunto, esses resultados reforçam que a irrigação deve ser compreendida como elemento central da estratégia de desenvolvimento agropecuário, com impactos que ultrapassam a esfera técnica e se estendem à produtividade, à renda e à organização econômica do meio rural.

5. Considerações finais

Neste estudo, buscou-se medir e qualificar os impactos socioeconômicos da agricultura irrigada no Brasil a partir da análise de seus efeitos dinâmicos sobre variáveis macroeconômicas. Para isso, foram selecionadas regiões em que a irrigação desempenha participação relevante no contexto nacional. Em termos descritivos, as regiões imediatas selecionadas concentram participação desproporcional da irrigação no país, ao reunirem 37,1% da área irrigada por pivô central nacional, embora representem apenas 11,1% da área agrícola.

Na dinâmica macroeconômica, a irrigação causa (no sentido de Granger) variações no VAB agropecuário, na proporção de área agrícola, no emprego agro e no valor de produção de culturas temporárias. Com as funções impulso-resposta (IRFs) obtidas por meio do PVAR mostram que um choque de 1 desvio padrão na área irrigada (1.566 ha) geraria aumentos médios de R\$ 8,27 milhões no VAB Agro., R\$ 164,58/ha na produtividade e 9 postos de trabalho. O conjunto desses resultados sugere que a irrigação atua como vetor de dinamização produtiva e fortalecimento da capacidade de geração de renda e trabalho, enquanto ajusta de forma transitória a necessidade de capital externo, antes de estabilizar um novo patamar de financiamento.

Por fim, a decomposição da variância evidencia que a importância da irrigação para explicar as oscilações das variáveis econômicas e produtivas aumenta de forma consistente ao longo do tempo. À medida que a irrigação se consolida no sistema produtivo, ela passa a ter papel central na determinação da renda agropecuária, na configuração do uso do solo, na produtividade das culturas e na dinâmica do emprego rural. Esse crescimento da influência indica que a irrigação deixa de ser apenas um fator complementar e se torna elemento estruturante do funcionamento e da evolução desses territórios.

Neste os resultados, o estudo demonstra que a irrigação é um ativo estratégico para elevar a produtividade e consolidar a renda agropecuária. A dinâmica macroeconômica indica que a irrigação não é apenas um insumo: torna-se, ao longo do tempo, um determinante central das flutuações do sistema agro em territórios onde atinge escala. Para que esses ganhos sejam generalizados e resilientes, a política pública e a ação privada devem combinar expansão,

financiamento adequado ao ciclo da adoção, e estratégias regionais que levem em conta clima, estrutura produtiva e infraestrutura.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>. Acesso em: 11 ago. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

BATTISTI, R.; SILVA NETO, W. A. da; COSTA, R. M. da; DAPPER, F. P.; ELLI, E. F. Irrigation demand for fruit trees under a climate change scenario using artificial intelligence. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S. l.], v. 54, p. e77917, 2024.

BORBA, M. C.; RAMOS, J. E. S.; BARROS, J. E. M.; MACHADO, J. A. D. A difusão de tecnologias no meio agrícola na Caatinga—a região de clima semiárido brasileiro. **Interações (Campo Grande)**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 69–93, 2023.

BORGES, M. J., PARRÉ, J. L. O impacto do crédito rural no produto agropecuário brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 60(2), e230521. 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.230521>

CARVALHO, D. F. de; MARTINS, R. da C.; DOS SANTOS, J. J.; TELES, G. C.; GENTILE, M. A.; OLIVEIRA, M. S. de. Evolution and current scenario of irrigated area in Brazil: Systematic data analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 24, p. 505–511, 2020.

CASAGRANDE, D.; EMANUEL, L.; FREITAS, C.; OLIVEIRA, F. Climate adaptation policies and rural income: Evidence from social technologies in Brazil. **World Development**, [S. l.], v. 181, p. 106683, 2024.

DOURADO NETO, D.; ROCHA JUNIOR, A. B.; BARRETTO, A. G. de O. P.; CHAMMA, A. L. S.; FENDRICH, A. N.; GIANETTI, G. W.; SAFANELLI, J. L.; ARAUJO, M. A. de; TAKAHASHI, N. de F.; COUTINHO, P. A. Q. Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil: Plano de Ação Imediata da Agricultura Irrigada no Brasil para o período 2020-2023. [S. l.], 2020.

HALL, P. The bootstrap and Edgeworth expansion. New York: Springer, 1992.

HOLTZ-EAKIN, D., NEWEY, W., ROSEN, H.S., 1988. Estimating vector autoregressions with panel data. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 1371-1395, 1988.