

EFEITOS DA SECA SOBRE O RENDIMENTO DA CULTURA DO MILHO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

EFFECTS OF DROUGHT ON MAIZE YIELD IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION

Kaio Expedito Rodrigues Queiroz

Discente no Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada do Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil.

Gonimar Venâncio Teixeira Marques

Discente no Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural do Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil.

Lorena Vieira Costa Lelis

Docente no Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil.

Marcelo José Braga

Docente no Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil.

GT 04 - Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: A região de clima semiárido do Brasil é composta por municípios dos nove estados da região Nordeste e dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. A agricultura é uma das principais atividades econômicas dessa região, com o milho sendo a cultura mais difundida. Diante disso, o objetivo deste artigo foi investigar os efeitos da seca sobre a produtividade do milho (kg/ha) no Semiárido brasileiro. Para tanto, utilizou-se dados em painel, sendo estimado com regressores de efeito fixo. A seca foi mensurada por um índice que captura variações simultâneas entre o nível de precipitação e na temperatura com base no período climatológico. As variáveis de controles utilizadas foram crédito, irrigação, adubação e orientação técnica. O índice de seca afetou negativamente a produtividade do milho, com o efeito mais intenso em municípios com alta severidade de seca. Além disso, a interação entre o índice de seca e a irrigação indica que municípios com maior severidade de seca tendem a ter mais produtores utilizando irrigação. Essa tecnologia é instrumento de mitigação dos efeitos da seca, porém no Semiárido brasileiro ainda é pouco adotada. Perante os desafios socioeconômicos, a intensificação dos eventos de seca e seus efeitos sobre a produtividade de milho, o papel das políticas públicas de gestão de recursos hídricos nos municípios do Semiárido se torna fundamental para difundir as tecnologias de irrigação.

Palavras-chaves: semiárido, produtividade, mudanças climáticas, seca, milho.

Abstract: The Brazilian semi-arid region comprises municipalities located in nine states of the Northeast, as well as in the states of Minas Gerais and Espírito Santo. Agriculture is one of the main economic activities in this region. Maize is a widely cultivated crop. The objective of this study is to investigate the effects of drought on maize yield (kg ha⁻¹) in the Brazilian semi-arid region. Panel data were employed and the model was estimated using fixed effects. Drought was measured through an index that captures simultaneous variations in precipitation and temperature relative to a climatological baseline period. The control variables such as access to credit, irrigation, fertilization, and technical assistance, were included. The drought index negatively affects maize yield, with more pronounced effects in municipalities with higher drought severity. In addition, the interaction between the drought index and irrigation suggests that municipalities with severe drought conditions have a higher share of producers adopting irrigation. Irrigation is a mechanism to mitigate the adverse effects of drought. However, its adoption remains limited in the semi-arid region of Brazil. Given the socioeconomic challenges, and the increasing frequency and intensity of drought events, as well as their impacts on maize production, public policies focused on water resource management in semi-arid municipalities are essential for the diffusion of irrigation technologies.

Keywords: semi-arid, crop yield, climate change, drought, maize.

1. Introdução

As mudanças climáticas são compreendidas como alterações persistentes no clima, identificadas através de testes estatísticos durante um período superior a 30 anos. Essas variações são causadas tanto por eventos naturais como por ações antropogênicas. Entre as consequências estão o incremento da temperatura, alterações na precipitação, acidificação, decréscimo no nível de oxigênio, elevação do nível do mar, maior ocorrência de eventos extremos como tempestades, ciclones e períodos de secas prolongados (Chen, 2021; IPCC, 2021).

As áreas com clima semiárido apresentam maior vulnerabilidade climática. Entre 1920 e 2015, a temperatura elevou-se entre 1,2 e 1,3 °C nessas regiões. Por outro lado, nas regiões úmidas o acréscimo foi de 0,8 a 1,0 °C (Mirzabaev *et al.*, 2022). As atividades agrícolas desenvolvidas nas regiões semiáridas estão expostas às condições climáticas adversas como, por exemplo, a evapotranspiração deficitária decorrente da insuficiência de chuvas (Paulino *et al.*, 2019).

A região semiárida do Brasil é uma das maiores do mundo (SUDENE, 2021a). A Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), através do seu Conselho Deliberativo (Condel), é responsável pela delimitação do semiárido (Brasil, 1989). Após 1988, ocorreram quatro delimitações oficiais, com adoção de metodologias distintas.

A primeira delimitação ocorreu em 1995. Ao todo, 1.031 municípios dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe apresentaram nível de precipitação anual menor ou igual a 800 milímetros (mm) e compuseram a região (Ministério da Integração Nacional, 2005b; SUDENE, 2021a).

Em 2004, foi instituído um grupo de trabalho interministerial (GTI) com objetivo de estabelecer critérios técnicos para a delimitação do semiárido brasileiro (Ministério da Integração Nacional, 2004). Em 2005, foi estabelecido os três critérios, sendo eles: nível pluviométrico menor ou igual 800 milímetros por ano, nível de aridez de Thorntwaite inferior a 0,5 entre 1961 e 1990, e déficit hídrico diário maior ou igual a 60% (Ministério da Integração Nacional, 2005a).

Ao todo, em 2005, 1.133 municípios atenderam pelo menos um desses três critérios. Desses, 1.031 municípios estavam na delimitação anterior (Ministério da Integração Nacional, 2005b). Em 2014, o Ministério da Integração Nacional instituiu um novo GTI para avaliar novamente a delimitação do semiárido (SUDENE, 2021b).

Em 2017, o Condel/SUDENE aprovou a manutenção dos três critérios estabelecidos em 2005, porém atualizou o período climático base de 1971-2000 para 1981-2010. Foram mantidos os 1.133 municípios da delimitação de 2005, sendo acrescentados outros 129 (Ministério da Integração Nacional, 2017; SUDENE, 2021a).

Em 2021, a SUDENE formalizou outro grupo de trabalho para revisar a delimitação. O relatório final indicou a manutenção dos três indicadores, atualizando o período climatológico de referência para 1991-2020. Neste relatório foi sugerido a inclusão de 215 municípios e exclusão de outros 50. Todavia, em 2024, ocorreu sua retificação, em caráter excepcional, sendo determinado a permanência dos 50 municípios (SUDENE, 2021a, 2024).

A região semiárida brasileira tem 31,04 milhões de pessoas (15% da população total) e ocupa 1,34 milhões de quilômetros quadrados (16% do território nacional). A densidade demográfica da região é de 43 habitantes/km², sendo a média nacional igual a 24 habitantes/km². Cerca de 31% da população do Semiárido reside na área rural, enquanto a média da população rural no país é 13% (IBGE, 2022).

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, a região semiárida possui 1,84 milhões de estabelecimentos agropecuários (36% do total). Destes, aproximadamente 78,8% são caracterizados como agricultura familiar e 21,2% como não familiar (IBGE, 2017). Os municípios do Semiárido se caracterizam pelos baixos Índices de Desenvolvimento Humano Municipal médio (IDHM de 0,595), enquanto a média nacional é 0,727 (AtlasBrasil, 2022).

Entre 2020 e 2024, a soja foi o produto representativo no valor da produção agrícola do Semiárido (32%), seguida pelo milho (11%), café (5%) e feijão (3%). Contudo, as produções de soja e café estão concentradas em 5,5% e 15,2% dos municípios, respectivamente. Já o milho e o feijão são culturas mais disseminadas, a primeira foi cultivada em 96,4% dos municípios, enquanto a segunda foi produzida em 97,5% (IBGE, 2024).

Perante a intensificação das mudanças climáticas e a vulnerabilidade da agricultura no Semiárido, este trabalho tem por objetivo estimar os efeitos da seca sobre o rendimento produtivo do milho nos municípios de clima semiárido. Especificamente, pretende-se calcular o índice de seca e estimar sua relação com o rendimento da produção do grão, em nível municipal.

Este estudo apresenta uma análise que contribui para a literatura em diversas dimensões. Primeiro, o presente trabalho difere de Santos, Oliveira e Ferreira Filho (2022) por realizar uma análise em nível municipal. Além disso, amplia a análise realizada por Queiroz, Lavorato e Braga (2025) para toda a região semiárida. E com relação a Araújo *et al.* (2014) e a Tanure,

Domingues e Magalhães (2023) utiliza base de dados mais recentes, além de considerar a última delimitação do semiárido (2021).

Além dessa seção introdutória, este trabalho está organizado em mais quatro seções. A seção dois apresenta a revisão de literatura sobre os efeitos das mudanças climáticas na agricultura. A terceira apresenta a metodologia utilizada para estimar a relação de interesse (índice de seca na produtividade do milho). A quarta apresenta os resultados. Por fim, a quinta seção contém as considerações finais.

2. Revisão da Literatura

A intensificação das mudanças climáticas afeta negativamente a biodiversidade e o ecossistema nas regiões de clima semiárido. Os impactos diretos sobre a humanidade estão relacionados com o aumento da insegurança alimentar, redução na quantidade e na qualidade da água potável e agravamento do fluxo migratório (Kerr *et al.*, 2022; Mirzabaev *et al.*, 2022).

Evidências têm mostrado que na agricultura os efeitos das mudanças climáticas estão associados a alterações tanto no rendimento agrícola quanto na produtividade total dos fatores (Ortiz-Bobea *et al.*, 2021). Na Índia, BIRTHAL *et al.* (2015) apontam que a produtividade do arroz foi negativamente afetada pela seca, com impactos heterogêneos ao longo do território conforme características ambientais, sistemas de produção e culturas praticadas. No Chile, Fernández *et al.* (2019) encontraram que as propriedades rurais menores são mais sensíveis às mudanças climáticas.

No Brasil, Santos, Oliveira e Ferreira Filho (2022) investigaram os impactos socioeconômicos das mudanças climáticas sobre a agricultura, em nível regional. Os choques sobre as áreas agricultáveis foram prejudiciais tanto no cenário intermediário (RCP4.5) como no cenário pessimista (RCP8.5) no Nordeste e também no Sudeste.

Tanure, Domingues e Magalhães (2023) analisaram os efeitos das mudanças climáticas sobre a produtividade das culturas agrícolas tanto na produção de larga escala como na produção familiar. Os agricultores com pequena escala de produção apresentaram maior sensibilidade aos efeitos das mudanças climáticas.

Araújo *et al.* (2014) avaliaram a influência das condições climáticas sobre a produção por hectare da mandioca, milho e cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro. Os impactos das mudanças climáticas foram heterogêneos entre os estados. As três atividades analisadas foram impactadas negativamente.

Queiroz, Lavorato e Braga (2025) analisaram os efeitos da aridificação do clima sobre a produtividade da banana, cana-de-açúcar e mandioca no semiárido de Minas Gerais. Os impactos da aridificação do clima foram distintos entre as três culturas. Quando comparada com a mandioca e a banana, a perda produtiva da cana-de-açúcar foi superior.

3. Metodologia

A relação de interesse deste trabalho é verificar o efeito da seca sobre o rendimento médio do milho (kg/ha), nos municípios situados na região de clima semiárido do Brasil. Atualmente, esta região abrange os nove estados do Nordeste mais Minas Gerais e Espírito Santo. Para avaliação da relação de interesse, especificou-se a seguinte equação:

$$\ln(Y_{it}) = \beta_1 DI_{it} + \beta_2 \alpha_{it} + \beta_3 \gamma_{it} + \beta_4 \delta_{it} + \beta_5 \mu_{it} + C_i + T + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Em que os subscritos i e t representam os municípios e o ano, respectivamente; Y é rendimento do milho (kg/ha); DI é o índice de seca; α é a relação das propriedades rurais que fazem adubação; γ é a relação das propriedades rurais que tomaram crédito; δ é a relação das propriedades rurais que utilizam o sistema de irrigação; μ é a relação das propriedades rurais que utilizam assistência técnica; C_i é o efeito fixo municipal; T é a *dummy* anual; ε_{it} é o distúrbio; $\ln(\cdot)$ = função do logaritmo natural.

Neste estudo, foi calculado a média da produtividade na primeira e segunda safra em cada ano. O rendimento produtivo do milho (Y_{it}) varia conforme o município i e o ano t . O coeficiente β_1 da Equação 1 fornece a relação causal de interesse. A inferência estatística foi obtida por meio dos erros padrões dos coeficientes (β 's).

Assume-se que a produtividade do milho esteja associada ao índice de seca e a uma série de fatores observáveis e não observáveis. Entre os observáveis, estão o acesso ao crédito, utilização da irrigação, adubação e recebimento de orientação técnica (Birthal *et al.*, 2015; Plastina; Lence; Ortiz-Bobea, 2021).

Os parâmetros da Equação 1 foram estimados pelo método de efeitos fixos (*within*). Através desse método eliminou os efeitos não observados e invariantes no tempo, permitindo, assim, controlar a heterogeneidade entre os municípios (Wooldridge, 2002).

Como variáveis de controle adotou-se a relação entre o número de estabelecimentos que tomaram crédito; a relação do número de empreendimento que utilizam a irrigação; a relação do número de empreendimentos que fazem adubação; e a relação do número de empreendimentos que recebem orientação técnica em relação ao total de empreendimentos agropecuários no município.

O índice de seca é compreendido como ocorrências simultâneas de níveis precipitações abaixo do esperado e temperatura acima do esperado. Esses valores esperados são definidos com base em um período climatológico que, por sua vez, corresponde a temperatura e precipitação média ao longo de 30 anos. O índice de seca (Equação 2) afeta o rendimento produtivo do milho conforme a intensidade, localidade e período (Birthal *et al.*, 2015).

$$DI_{it} = -1 \min \left(0, \frac{(pr_{it} - \overline{pr_i})}{sd(pr_i)} \right) \times \max \left(0, \frac{(tme_{it} - \overline{tme_i})}{sd(tmpe_i)} \right) \quad (2)$$

Em que os subscritos *i* e *t* representam os municípios e o ano, respectivamente; *tme* e *pr* representam, na mesma ordem, os valores de temperatura e precipitação; $\overline{(\cdot)}$ e $sd(\cdot)$ representam a média e o desvio-padrão das variáveis climáticas em relação ao período climatológico, respectivamente. Para 2006 o período climatológico correspondeu a 1976-2005 e para 2017 foi de 1987 a 2016.

A fim de analisar a robustez foram estimadas três especificações. A primeira é a relação apresentada na Equação 1. A segunda incorpora um termo não linear para a seca (DI_{it}^2), permitindo capturar e ponderar os possíveis efeitos da seca em regiões com condições mais adversas. Na terceira especificação considerou a interação entre o índice de seca e a irrigação, isolando, assim, a influência da irrigação sobre a produtividade do milho em condições de seca.

3.1. Fonte e tratamento dos dados

Os dados climatológicos foram tomados da base disponibilizada por Saldanha et al. (2024). As variáveis climáticas estão disponibilizadas, em nível municipal, para o período de 1950 a 2022, com frequência diária. Especificamente, calculou-se a temperatura média e a precipitação acumulada no mês para cada município.

A produtividade do milho foi obtida da Produção Agrícola Municipal (PAM), levantada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados relacionados a adubação,

crédito, irrigação e orientação técnica foram tomados dos censos agropecuários de 2006 e 2017 do IBGE. O tratamento dos dados e as estimativas econométricas foram executadas no *software* R.

4. Resultados

4.1. Análise descrita

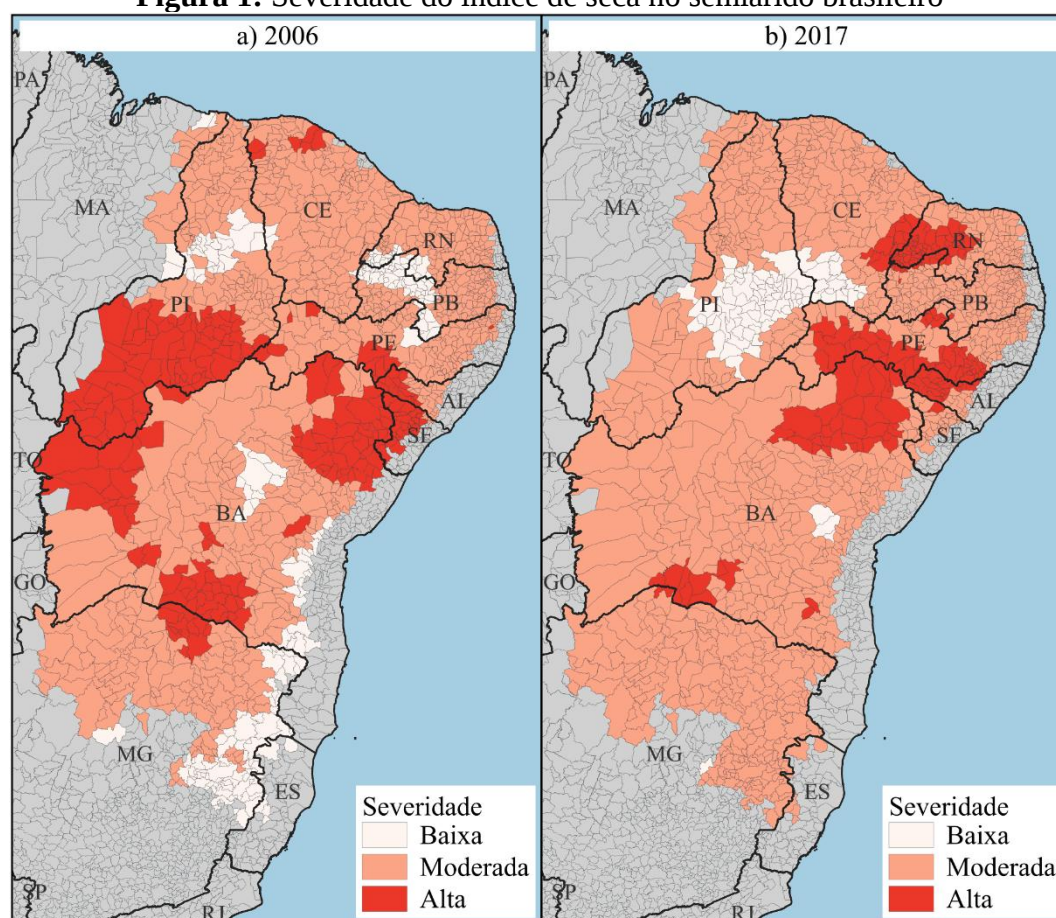
Os valores do índice de seca mais próximos de zero refletem condições climáticas próximas do normal climatológico (Birthal *et al.*, 2015). Em 2006, os municípios do Semiárido apresentaram, em média, o índice de 0,46, com desvio-padrão de 0,22, valor máximo de 1,43 e mínimo de -0,13. Em 2017, apesar da média ter aumentado para 0,58, o desvio-padrão de 0,37, indicando maior dispersão entre os municípios. Neste ano, o valor máximo foi de 2,52 e mínimo de -0,08.

Segundo Birthal *et al.* (2015), através do índice de seca é possível classificar a severidade. A severidade é alta quando o índice é superior à média mais 1 desvio-padrão. Por outro lado, é baixa quando o índice é inferior à média menos 1 desvio-padrão. Quando o índice está no intervalo, a severidade da seca é moderada.

A seca foi de baixa severidade em 234 municípios em 2006 e 94 em 2017. Por sua vez, foi de moderada severidade em 1.018 municípios em 2006 e 1.178 em 2017. A severidade foi alta em 225 municípios em 2006 e 201 em 2017¹. A Figura 1 reporta a distribuição dos 1.477 municípios, conforme a severidade do índice de seca.

¹ 2017 apresenta municípios com dados faltantes.

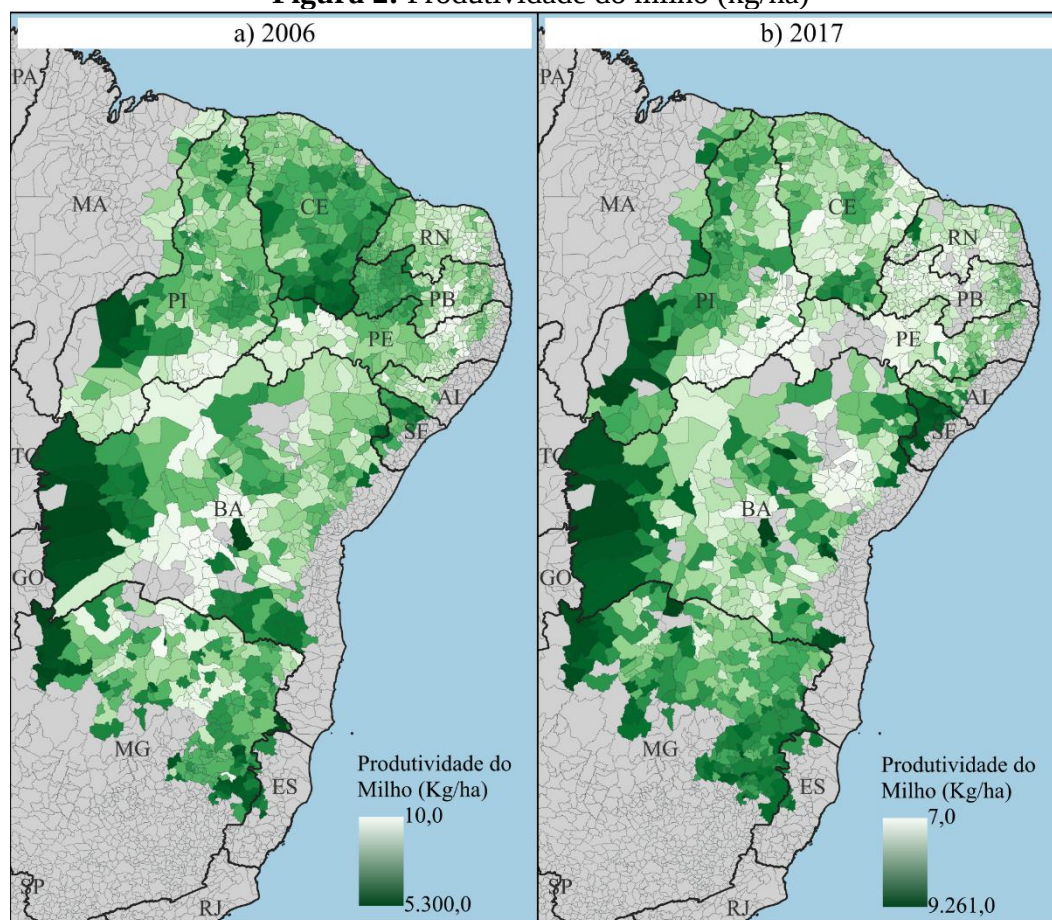
Figura 1: Severidade do índice de seca no semiárido brasileiro



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados de Saldanha *et al.* (2024)

De forma geral, no Semiárido a produtividade média do milho foi 842 kg/ha em 2006 e 1.049 kg/ha em 2017. Essa diferença demonstra, dentre outros fatores, o avanço tecnológico no cultivo desse grão na região. Os municípios que apresentaram maiores rendimentos produtivos estão localizados no oeste de Minas Gerais, Bahia e Piauí. Os dois últimos estados integram a região MATOPIBA, que apresenta agricultura caracterizada por grandes propriedades rurais e técnicas produtivas modernas. Todavia, observa-se a heterogeneidade na Bahia e Piauí, haja visto que outros municípios desses estados apresentam menores produtividades (Figura 2).

Figura 2: Produtividade do milho (kg/ha)



Fonte: Elaborado pelos autores com base em IBGE (2006, 2017).

Nos municípios onde a seca foi de baixa severidade, a produtividade média do milho foi 1.021 kg/ha em 2006 e 752 kg/ha em 2017. Nos municípios onde a seca foi de alta severidade, a média foi 821 kg/ha em 2006 e 524 kg/ha em 2017. A diferença entre a produtividade média dos municípios com baixa e alta severidade da seca evidencia os efeitos negativos do índice de seca na produtividade do milho.

A Tabela 1 reporta a estatística descritiva das variáveis de controle utilizadas. Nos municípios onde a seca foi de baixa severidade, a relação média da utilização de adubação caiu de 16,5% para 8,4%. Por outro lado, nos municípios onde a seca foi de alta severidade, a mesma relação, aumentou de 15,1% para 27,5%.

Nos municípios onde a seca foi de baixa severidade, a relação dos empreendimentos rurais que tomaram crédito em relação ao total reduziu, aproximadamente, 3 pontos percentuais (pp) de 2006 para 2017. Já nos municípios onde a seca foi de alta severidade, a relação permaneceu constante (Tabela 1). Foram consideradas todas as fontes de financiamento,

todavia, o acesso ao crédito no Semiárido se deu majoritariamente via Pronaf e/ou Pronamp (IBGE, 2025).

A relação do número de estabelecimentos que fazem uso de irrigação elevou-se 4 pp. Com destaque para os municípios onde a seca foi de alta severidade que apresentaram elevação de 7,9 pp. De fato, a utilização da irrigação é uma das formas de atenuar os riscos de seca na produção.

Como orientação técnica utilizou todas as fontes de informação levantadas nos censos agropecuários de 2006 e 2017. A relação do número de estabelecimentos assistidos permaneceu constante, porém em municípios com baixa severidade de seca a relação reduziu em 12,5 pp. Por outro lado, em municípios com alta severidade de seca a relação aumentou 5,3 pp.

Tabela 1: Estatística descritiva

	Total				Severidade da Seca							
					Baixa				Alta			
	Média		Desv. Pad.		Média		Desv. Pad.		Média		Desv. Pad.	
	2006	2017	2006	2017	2006	2017	2006	2017	2006	2017	2006	2017
Rel. adubação (%)	15,6	28,9	16,5	22,3	16,5	8,4	17,6	9,0	15,1	27,5	17,9	19,3
Rel. crédito (%)	15,9	14,8	8,0	8,1	16,5	13,6	8,9	7,2	15,6	15,1	7,5	7,4
Rel. irrigação (%)	7,5	11,4	10,4	12,4	10,6	5,9	11,5	5,5	4,8	12,7	8,4	14,3
Rel. orien. téc. (%)	12,0	11,9	13,1	11,9	17,4	4,9	14,7	6,1	7,4	12,7	7,8	12,3

Fonte: Resultado da pesquisa com base nos dados dos censos agropecuários de 2006 e 2017.

4.2. Resultados econométricos

O efeito do índice de seca sobre a produtividade do milho foi negativo nas três especificações analisadas. Na especificação 1, o incremento de 1 unidade no índice de seca reduziu, em média, a produtividade do milho em 46,7% (Tabela 2). Esse resultado é semelhante ao encontrado por Cai, Yu e Oppenheimer (2014), que avaliaram os efeitos da temperatura e precipitação sobre a produtividade do milho nos Estados Unidos.

Na especificação 2, não observou o efeito do índice de seca sobre a produtividade quando analisado em nível, porém o efeito do índice ao quadrado foi de -43,4% sobre rendimento produtivo (Tabela 2). Isto é, os municípios com condições de seca severa apresentam maior perda de produtividade.

Na especificação 3, o índice de seca afeta negativamente a produtividade do milho (27,9%), bem como a interação entre o índice de seca e a irrigação (-2,0%) (Tabela 2). Esse

resultado indica que quanto maior a intensidade da seca no município maior a adoção de irrigação.

De fato, municípios com alta severidade de seca apresentaram, em média, 8,75% dos empreendimentos com irrigação, enquanto municípios com baixa severidade de seca apresentaram, em média, 8,25%. Fernández et al. (2019) demonstram a importância da irrigação para mitigação dos efeitos climáticos sobre a agricultura em regiões de clima semiárido.

Tabela 2: Efeitos sobre o logaritmo da produtividade do milho (kg/ha)

	Especificação		
	(1)	(2)	(3)
Índice de seca	-0,467*** (0,077)	0,263 (0,220)	-0,279*** (0,106)
Índice de seca × Índice de seca	-	-0,434*** (0,122)	-
Índice de seca × Rel. irrigação	-	-	-0,020*** (0,008)
Rel. adubação	0,010*** (0,003)	0,009*** (0,003)	0,010*** (0,003)
Rel. crédito	0,003 (0,004)	0,002 (0,004)	0,002 (0,004)
Rel. irrigação	0,011** (0,004)	0,010** (0,004)	0,022*** (0,006)
Rel. orien. téc.	-0,012*** (0,003)	-0,012*** (0,003)	-0,011*** (0,003)
<i>Dummy</i> anual, T (referência 2017)	-0,389* (0,048)	-0,370* (0,048)	-0,376* (0,049)
Nº de observações	2775	2775	2775
R ²	0,104	0,112	0,108
p-valor da estatística F	0,000	0,000	0,000
AIC	4959	7709	10496
BIC	4994	7750	10538

Nota: *, **, *** significativo à 10%, 5% e 1%, respectivamente. **Fonte:** Resultados da pesquisa.

A adubação e a irrigação apresentaram efeitos positivos sobre a produtividade do milho nas três especificações (Tabela 2). Nos municípios como um todo, a relação de empreendimentos que utilizaram adubação saltou de 15,6% em 2006 para 28,9% em 2017. Já o aumento da utilização da irrigação foi maior nos municípios que apresentaram severidade da seca alta, de 4,8% em 2006 para 12,7% em 2017.

O efeito da orientação técnica sobre a produtividade do milho foi negativo (Tabela 2). Freitas, Silva, Braga e Neves (2021) destacam que os benefícios do recebimento de assistência técnica estão associados a um conjunto de fatores que vão além da presença de orientação, como nível de escolaridade e experiência dos produtores.

Além do mais, como observado na Tabela 1, em média, 10% dos empreendimentos situados em municípios com alta severidade da seca e 11% dos empreendimentos situados em municípios com baixa severidade de seca receberam orientação técnica. Logo, esse resultado pode estar associado com o baixo acesso à assistência técnica aliado com os desafios socioeconômicos da região.

A tomada de crédito rural não afetou o rendimento produtivo do milho (Tabela 2). De acordo com Sobreira, Tabosa, Costa e Khan (2024), os benefícios do crédito rural são heterogêneos entre as regiões brasileira. Especificamente no Nordeste, onde estão localizados majoritariamente os municípios do semiárido, há uso ineficiente de recursos e baixa cobertura no acesso ao crédito. Além do mais, os ganhos com o crédito rural estão associados ao acesso à orientação técnica.

5. Considerações finais

Este estudo estimou os efeitos da seca sobre a produtividade do milho nos municípios do semiárido brasileiro. Para tanto, calculou o índice de seca e estimou sua relação com o rendimento produtivo deste grão, por meio de dados em painel. Em 2006, a severidade da seca foi baixa em 234 dos 1.477 municípios. Já, em 2017, 94 municípios apresentaram essa mesma condição. A severidade foi alta em 225 municípios em 2006 e 201 em 2017.

Nos municípios, onde a seca foi de baixa severidade, a produtividade média do milho foi 1.021 kg/ha e 752 kg/ha em 2006 e 2017, respectivamente. Por outra lado, nos municípios, com alta severidade, as médias foram 821 kg/ha (em 2006) e 524 kg/ha (em 2017). A relação causal entre o índice de seca e a produtividade do milho indicou perda de produtividade sob condições de seca no Semiárido brasileiro.

O incremento de 1 unidade no índice de seca reduz, em média, a produtividade do milho, em aproximadamente, 46,7%. Além disso, constatou uma relação não linear entre o índice e a produtividade (-43,4%), isto é, os municípios com maior severidade de seca apresentam maior

perda de produtividade. Com intensificação dos efeitos das mudanças climáticas, a produtividade tende a reduzir nos municípios do Semiárido.

A relação inversa entre a interação índice de seca e irrigação com a produtividade milho indica que os municípios com alta severidade de seca tendem a ter mais empreendimentos com irrigação. Essa tecnologia é instrumento de mitigação dos efeitos da seca nas regiões de clima semiárido, contudo existe baixa adoção nos municípios estudados. Dado os desafios socioeconômicos e a intensificação das condições climáticas adversas, o papel das políticas públicas de gestão de recursos hídricos nos municípios do Semiárido é fundamental para difundir a adoção de tecnologias de irrigação.

A análise em nível de municipal em detrimento do estabelecimento, não incorpora as características individuais dos agricultores e propriedades. A agregação de dados neste estudo, necessária devido aos dados disponíveis, podem ter subestimado os efeitos do crédito, irrigação, adubação e orientação técnica, principalmente nos municípios que apresentam elevada heterogeneidade entre estabelecimentos. Dessa forma, sugere-se para estudos futuros análises em nível de propriedade.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- ARAÚJO, Paulo H. C. *et al.* Uma análise do impacto das mudanças climáticas na produtividade agrícola da região Nordeste do Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza-CE, nº 3, p. 46–57, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.61673/ren.2014.118>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- ATLASBRASIL. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**, 2022. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/acervo/biblioteca>. Acesso em: 23 mar. 2026.
- BIRTHAL, P. S. *et al.* Is Indian agriculture becoming resilient to droughts? Evidence from rice production systems. **Food Policy**, [s. l.], vol. 56, p. 1–12, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.07.005>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. Lei Federal nº 7.827, de 27 de setembro de 1989. Regulamenta o artigo 159, inciso I, alínea c, da Constituição Federal. Brasília, DF: Presidência da República, [1989]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17827.htm#:~:text=L.EI. Acesso em: 30 dez. 2022.

CAI, Ruohong; YU, Danlin; OPPENHEIMER, Michael. *Estimating the Spatially Varying Responses of Corn Yields to Weather Variations using Geographically Weighted Panel Regression*. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, [s. l.], vol. 39, no 2, p. 230–252, 2014. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/44131327>. Acesso em: 13 mar. 2025.

CHEN, D. et al. *Framing, Context, and Methods*. In: **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2021, p. 147–286. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-1/>. Acesso em: 30 nov. 2025.

FERNÁNDEZ, F. J. et al. *Implications of climate change for semi-arid dualistic agriculture: a case study in Central Chile*. **Regional Environmental Change**, [s. l.], vol. 19, nº 1, p. 89–100, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1380-0>. Acesso em: 28 set. 2025.

FREITAS, Carlos O. de et al. *Rural extension and technical efficiency in the Brazilian agricultural sector*. **International Food and Agribusiness Management Review**, [s. l.], vol. 24, no 2, p. 215–232, 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/ags/ifaamr/316242.html>. Acesso em: 30 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2006/segunda-apuração>. Acesso em: 28 set. 2025.

_____. **Censo Agropecuário**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017/resultados-definitivos>. Acesso em: 28 set. 2025.

_____. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 04 set. 2025.

_____. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 28 set. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. *Annex VII: Glossary*. In: **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2021, p. 2215–2256. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_AnnexVII.pdf. Acesso em: 28 set. 2025.

KERR, R. B. et al. *Food, Fibre, and Other Ecosystem Products*. In: PÖRTNER, H.-O. et al (eds). **Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2022, p. 713–906. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília, DF: Secretária de Políticas de Desenvolvimento Regional, 2005b.

____. **Portaria Interministerial nº 1, de 9 de março de 2005**. Estabelecimento de critérios técnicos definidores de clima semiárido. Brasília, DF: Diário Oficial da União, nº 48, 11 mar. 2005a. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=11/03/2005&jornal=1&pagina=41&totalArquivos=88>. Acesso em: 04 nov. 2025.

____. **Portaria Interministerial nº 6, de 29 de março de 2004**. Atualização dos critérios técnicos necessários à delimitação da área compreendida pela região do semiárido nordestino. Brasília, DF: Diário Oficial da União, nº 61, 30 mar. 2004. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=30/03/2004&jornal=1&pagina=79&totalArquivos=192>. Acesso em: 04 nov. 2025.

____. **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste**: Conselho Deliberativo, Resolução nº 107, de 27 de julho de 2017. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência.

Brasília, DF: Diário Oficial da União, nº 176, 13 set. 2017. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/09/2017&jornal=1&pagina=48&totalArquivos=128>. Acesso em: 04 nov. 2025.

MIRZABAEV, A. *et al.* *Deserts, Semiarid Areas and Desertification*. In: PÖRTNER, H.-O. *et al* (eds). **Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2022, p. 2195–2231. Disponível em:

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_CCP3.pdf. Acesso em: 04 nov. 2025.

ORTIZ-BOBEA, Ariel *et al.* *Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth*. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 306–312, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>. Acesso em: 15 mar. 2025.

PAULINO, V. E. N. *et al.* *Trends in crop reference evapotranspiration and climatological variables across Ceará state – Brazil*. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], vol. 34, nº 1, p. 79–88, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786334017>. Acesso em: 29 set. 2025.

PLASTINA, Alejandro; LENCE, Sergio H.; ORTIZ-BOBEA, Ariel. *How weather affects the decomposition of total factor productivity in U.S. agriculture*. **Agricultural Economics**, [s. l.], vol. 52, no 2, p. 215–234, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/agec.12615>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SALDANHA, R. *et al.* *Zonal statistics datasets of climate indicators for Brazilian municipalities*. **Environmental Data Science**, [s. l.], vol. 3, nº 2, p. 1–14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/eds.2024.3>. Acesso em: 16 out. 2024.

SANTOS, C. V.; OLIVEIRA, A. F.; FERREIRA FILHO, J. B. S. *Potential impacts of climate change on agriculture and the economy in different regions of Brazil*. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], vol. 60, nº 1, p. 1–24, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220611>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SOBREIRA, Diogo B.; TABOSA, Francisco J. S.; COSTA, Edward M.; KHAN, Ahmad S. *Heterogeneous regional effects of rural credit on agricultural production in Brazil*. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], vol. 62, nº 4. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.271082>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE.

Delimitação do Semiárido – 2021: Relatório Final. Recife, PE: 2021a. Disponível em:

https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/8-relatoriometodologia_semiarido2021_v9-versaodefinitiva__1_.pdf. Acesso em: 04 nov. 2025.

____. **Portaria SUDENE nº 80, de 27 de julho de 2021**. Recife, PE: 2021b. Disponível em:

<https://www.gov.br/sudene/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/hierarquia/portarias/portaria-ndeg-80-de-27-de-julho-de-2021>. Acesso em: 04 nov. 2025.

____. **Resolução Condel/SUDENE nº 176, de 3 de janeiro de 2024**. Recife, PE: 2024.

Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-conselho-deliberativo/resolucao-condel-sudene-no-176-de-3-de-janeiro-de-2024>. Acesso em: 10 nov. 2025.

QUEIROZ, Kaio E. R.; LAVORATO, Mateus P.; BRAGA, Marcelo J. Efeitos da aridificação do clima sobre a produtividade agrícola no semiárido de Minas Gerais. **Revista de Economia e Agronegócio**, [s. l.], vol. 23, no 1, 2025. Disponível em:

<https://doi.org/10.25070/rea.v23i1.18940>. Acesso em: 1 nov. 2025.

TANURE, Tarik M. P.; DOMINGUES, Edson P.; MAGALHÃES, Aline S. *Regional impacts of climate change on agricultural productivity: evidence on large-scale and family farming in Brazil*. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], vol. 62, no 1, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.262515>. Acesso em: 29 set. 2025.

Wooldridge, Jeffrey M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. Cambridge: MIT Press, 2002.