

ECONOMETRIA APLICADA

Efeitos do El Niño na Produtividade Agrícola Brasileira

Evidência para um painel de microrregiões (1990–2024)

Vitor Hugo Miro (LABDEA/UFC)

Resumo

Este estudo avalia os efeitos do El Niño–Oscilação Sul (ENOS) sobre a produtividade de soja, milho, arroz e feijão no Brasil, em um painel de microrregiões entre 1990 e 2024. Os efeitos mostram-se acentuadamente heterogêneos e assimétricos entre as fases do fenômeno. Em anos de El Niño, as perdas concentram-se nas culturas alimentares de sequeiro — arroz e feijão — das regiões Norte e Nordeste, enquanto soja e milho não apresentam perdas claras. Já os anos de La Niña associam-se a ganhos de rendimento em várias culturas nordestinas. Os resultados oferecem subsídio ao diagnóstico de exposição regional e à priorização de ações públicas e privadas diante do El Niño previsto para 2026/27.

■ Introdução

Em junho de 2026, o retorno do El Niño ao oceano Pacífico equatorial voltou a colocar os possíveis impactos do fenômeno no centro das discussões climáticas. A National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) confirmou a presença das condições associadas ao fenômeno e indicou que ele deverá ganhar intensidade nos próximos meses (NOAA, 2026). No Brasil, uma nota técnica conjunta do INPE, do INMET, da FUNCEME e do CENSIPAM apontou uma probabilidade elevada (superior a 80%) de o El Niño configurar-se ao longo do segundo semestre de 2026, podendo estender-se até o início de 2027, e alertou para o risco de eventos climáticos extremos e seus efeitos sobre diferentes regiões do país (INPE et al., 2026).

O El Niño corresponde à fase quente do fenômeno conhecido como El Niño–Oscilação Sul (ENOS), que resulta da interação entre o oceano e a atmosfera na região equatorial do Pacífico. Em condições normais, os ventos que sopram de leste para oeste deslocam as águas superficiais mais quentes em direção ao oeste do oceano. Quando esses ventos perdem intensidade, parte dessas águas se desloca para o centro e para o leste do Pacífico, elevando de forma persistente a temperatura da superfície do mar. A fase oposta, marcada pelo resfriamento anormal dessas águas, é denominada La Niña.

Embora tenha origem no Pacífico, o ENOS produz efeitos em regiões muito distantes. Isso ocorre porque o aquecimento ou o resfriamento das águas modifica a formação de nuvens, os ventos e a circulação atmosférica em grande escala. Essas alterações propagam-se pelo sistema climático e afetam o transporte de umidade, a temperatura e a distribuição das chuvas em diferentes partes do planeta. Essas conexões entre regiões distantes são conhecidas como teleconexões.

No Brasil, os efeitos do ENOS variam de acordo com a região e com o período do ano. Durante episódios de El Niño, observa-se, em geral, aumento das chuvas na Região Sul e redução da precipitação em áreas das regiões Norte e Nordeste, especialmente no norte do

Nordeste e em partes da Amazônia. No Sudeste e no Centro-Oeste, os efeitos sobre as chuvas são menos uniformes e podem variar inclusive dentro de uma mesma estação, embora temperaturas mais elevadas sejam frequentemente registradas durante esses episódios. Em anos de La Niña, algumas dessas anomalias tendem a apresentar sinais opostos. Isso não significa, contudo, que as duas fases produzam efeitos perfeitamente inversos: a intensidade, a duração e a distribuição espacial das respostas climáticas podem diferir entre El Niño e La Niña e entre eventos de uma mesma fase (Grimm, 2003; Paegle e Mo, 2002; Lenssen, Goddard e Mason, 2020; INPE et al., 2026).

Essas diferenças regionais são particularmente importantes para a agricultura brasileira. Grande parte das lavouras do país é conduzida em regime de sequeiro e, portanto, depende diretamente da quantidade e da distribuição das chuvas ao longo do ciclo produtivo. Períodos de estiagem podem comprometer a germinação, o desenvolvimento das plantas e a formação dos grãos. Chuvas excessivas, por sua vez, podem atrasar o plantio e a colheita, provocar alagamentos e reduzir a disponibilidade de radiação solar. Os efeitos do ENOS sobre a produtividade dependem, assim, não apenas da fase do fenômeno, mas também da região, da cultura e do momento em que as alterações climáticas ocorrem.

Nesta análise, avaliamos os efeitos do ENOS sobre o rendimento médio, ou produtividade, das culturas de soja, milho, arroz e feijão no Brasil, entre 1990 e 2024. A estratégia explora o fato de que um mesmo episódio do fenômeno atinge as regiões do país de formas distintas: comparamos como a produtividade de microrregiões situadas em diferentes partes do território responde ao mesmo estado do ENOS em cada ano. Distinguimos, ainda, os anos de El Niño dos de La Niña, uma vez que as duas fases não necessariamente produzem efeitos simétricos.

■ Dados e aspectos metodológicos

A análise empírica realizada emprega dados anuais de produtividade agrícola, informações sobre a ocorrência do fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS) e dados geográficos das microrregiões brasileiras. O período analisado compreende os anos de 1990 a 2024, contemplando as culturas de soja, milho, arroz e feijão. Evidências internacionais mostram que os efeitos do ENOS sobre os rendimentos variam fortemente entre regiões, culturas e sistemas produtivos, o que motiva uma estratégia capaz de capturar respostas diferenciais (Iizumi et al., 2014).

As informações sobre produtividade agrícola foram obtidas na pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).¹ A produtividade é mensurada pelo rendimento médio da produção, expresso em quilogramas por hectare, para cada cultura, microrregião e ano. Nas estimações econométricas, utiliza-se o logaritmo do rendimento médio como variável dependente.

Para representar as condições associadas ao ENOS, utiliza-se o *Oceanic Niño Index* (ONI), divulgado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). O ONI corresponde à média móvel trimestral das anomalias da temperatura da superfície do mar na região Niño 3.4, localizada na porção central do oceano Pacífico equatorial. Considerando que os efeitos climáticos sobre a produtividade dependem do estágio de desenvolvimento das culturas, adota-se a média do ONI observada entre outubro do ano $t - 1$ e fevereiro do ano t como medida de exposição para a safra colhida no ano t . Essa janela abrange o período de plantio e de desenvolvimento das principais lavouras de verão.

As informações geográficas foram obtidas a partir da malha de microrregiões.² Após a compatibilização das bases, o painel final reúne 61.260 observações, distribuídas entre 558

¹Presentes na Tabela 1612 do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).

²Embora as microrregiões tenham deixado de integrar a divisão regional oficial do IBGE em 2017, a PAM continua a disponibilizá-las como um de seus níveis de agregação.

microrregiões ao longo de 35 anos. Desse total, 8.874 observações correspondem à soja, 18.855 ao milho, 14.713 ao arroz e 18.818 ao feijão. O painel é desbalanceado, uma vez que nem todas as culturas são produzidas ou apresentam informações disponíveis em todas as microrregiões e em todos os anos do período analisado.

A análise empírica é conduzida em duas etapas complementares, ambas baseadas em modelos de dados em painel com efeitos fixos de alta dimensão, estimados separadamente para cada cultura. Na primeira etapa, o ENOS é representado pelo índice ONI de forma contínua, o que permite avaliar se variações no aquecimento do Pacífico equatorial estão associadas a diferenças sistemáticas de rendimento entre as regiões. O modelo pode ser representado por:

$$\ln(\text{rend}_{it}) = \sum_{r \neq SE} \beta_r (\text{ONI}_t \times \text{Região}_{ir}) + \alpha_i + \lambda_t + \sum_r \delta_r (t \times \text{Região}_{ir}) + \epsilon_{it}, \quad (1)$$

em que $\ln(\text{rend}_{it})$ representa o logaritmo do rendimento médio da cultura analisada na microrregião i e no ano t , e Região_{ir} identifica a macrorregião à qual pertence cada microrregião.

Na segunda etapa, o ONI contínuo é substituído por indicadores das fases do fenômeno, o que relaxa a hipótese de simetria imposta pelo modelo linear e permite identificar se os efeitos diferem entre El Niño e La Niña, à semelhança da abordagem por fases empregada por Tack e Ubilava (2013) para o milho norte-americano. A classificação é feita a partir dos limiares operacionais usuais:

$$\text{Fase}_t = \begin{cases} \text{El Niño,} & \text{se } \text{ONI}_t \geq +0,5, \\ \text{La Niña,} & \text{se } \text{ONI}_t \leq -0,5, \\ \text{Neutro,} & \text{caso contrário,} \end{cases} \quad (2)$$

sendo os anos neutros adotados como categoria de referência nas estimações.

Em ambas as etapas, os três componentes de controle têm a mesma função. Os efeitos fixos de microrregião (α_i) absorvem todas as características locais constantes ao longo do tempo, como localização geográfica, qualidade média dos solos e relevo, além dos efeitos principais das macrorregiões. Os efeitos fixos de ano (λ_t) controlam fatores que variam no tempo mas afetam simultaneamente todas as microrregiões, como preços agrícolas, taxa de câmbio e política de crédito rural; vale reconhecer que eles também absorvem o efeito principal do ONI, uma vez que o índice apresenta o mesmo valor para todas as unidades em determinado ano. As tendências lineares por macrorregião (δ_r) permitem que a produtividade evolua de forma distinta entre as regiões ao longo do período, controlando diferenças persistentes no ritmo de adoção de tecnologias, mecanização e infraestrutura agrícola.

Diante da inclusão dos efeitos fixos de ano, a identificação dos parâmetros de interesse não decorre da variação temporal isolada do ONI, mas da interação entre o índice e as macrorregiões: o modelo compara como microrregiões situadas em diferentes partes do país respondem ao mesmo estado do ENOS em cada ano. A Região Sudeste é adotada como categoria de referência; cada coeficiente β_r mede, portanto, a diferença percentual no rendimento da região r em relação ao Sudeste, por unidade adicional do ONI — ou, no modelo por fases, em relação a anos neutros.

■ Resultados

Os resultados das estimações para as duas etapas estão organizados nas subseções a seguir: o modelo contínuo, no qual o ENOS é representado pelo índice ONI, e a especificação por fases, que distingue anos de El Niño e La Niña.

• Modelo contínuo

A Tabela 1 apresenta os coeficientes do modelo contínuo.

Tabela 1. Efeito de um ponto adicional do ONI sobre o logaritmo do rendimento, por região, em relação ao Sudeste

Região (\times ONI)	Soja	Milho	Arroz	Feijão
Sul	0,011 (0,015)	0,026* (0,014)	-0,016*** (0,006)	-0,006 (0,006)
Centro-Oeste	-0,011 (0,007)	-0,010* (0,005)	-0,025*** (0,007)	-0,013* (0,008)
Nordeste	-0,045** (0,022)	-0,104*** (0,026)	-0,121*** (0,020)	-0,077*** (0,018)
Norte	-0,0002 (0,011)	0,010** (0,005)	-0,011* (0,006)	-0,020** (0,008)
Observações	8.874	18.855	14.713	18.818
R ² within	0,005	0,017	0,020	0,010

Notas: erros-padrão de Conley, com cutoff de 200 km, entre parênteses. Significância: *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$. Todas as especificações incluem efeitos fixos de microrregião e de ano e tendências lineares por macrorregião.

O padrão dominante é a forte heterogeneidade regional. No Nordeste, os coeficientes são negativos para todas as culturas: diante de aumentos no ONI, o rendimento nordestino tende a desempenho relativamente inferior ao do Sudeste, com magnitude maior em milho, arroz e feijão (-0,104, -0,121 e -0,077) do que na soja (-0,045). Esse gradiente é coerente com os mecanismos agrônômicos: milho, arroz e feijão nordestinos são majoritariamente de sequeiro e sensíveis à chuva, ao passo que a soja regional concentra-se em áreas mais tecnificadas, sobretudo no Matopiba. No Norte, os sinais para arroz e feijão também são negativos, reforçando a maior exposição das culturas alimentares à disponibilidade hídrica.

No Sul, em contraste, o coeficiente do milho é positivo, padrão compatível com a maior precipitação que o El Niño tende a trazer à região. Esses resultados, porém, dependem de uma hipótese restritiva do modelo contínuo: ao tratar o ONI como variável linear, ele impõe que El Niño e La Niña tenham efeitos simétricos, de mesma magnitude e sinais opostos. Como os efeitos agrônômicos de excesso e de escassez de chuva não são necessariamente simétricos, a subseção seguinte decompõe o ENOS em suas fases: El Niño e La Niña.

• Assimetria entre as fases do ENOS

A Tabela 2 apresenta os resultados da especificação por fases do ENOS. Nessa abordagem, os anos neutros são utilizados como categoria de referência, e os coeficientes indicam a variação diferencial do rendimento em anos de El Niño ou La Niña, relativamente aos anos neutros e ao Sudeste.

A decomposição por fases altera a interpretação dos resultados do modelo contínuo: o coeficiente negativo do ONI no Nordeste não deve ser lido automaticamente como perda em anos de El Niño. O padrão é especialmente claro para soja e milho. No Nordeste, os coeficientes de El Niño dessas culturas são positivos ou próximos de zero e sem evidência estatística robusta de perdas; já os de La Niña são positivos e expressivos, com coeficientes de 0,122 na soja e 0,160 no milho, sugerindo que anos de resfriamento do Pacífico melhoram as condições hídricas em áreas dependentes da regularidade das chuvas. Ou seja, para essas duas culturas, a inclinação negativa do modelo contínuo é movida sobretudo por ganhos em La Niña, não por perdas em El Niño.

Tabela 2. Efeito de anos de El Niño e La Niña sobre o logaritmo do rendimento, em relação a anos neutros e ao Sudeste

Região	Fase	Soja	Milho	Arroz	Feijão
Sul	El Niño	0,005 (0,021)	0,025 (0,021)	0,004 (0,017)	-0,012 (0,022)
Sul	La Niña	-0,042** (0,020)	-0,058* (0,034)	0,034* (0,017)	-0,025 (0,023)
Centro-Oeste	El Niño	0,015 (0,012)	-0,034* (0,020)	0,013 (0,017)	0,016 (0,027)
Centro-Oeste	La Niña	0,024** (0,010)	-0,027 (0,020)	0,061** (0,025)	0,030 (0,031)
Nordeste	El Niño	0,062 (0,039)	-0,037 (0,026)	-0,114*** (0,042)	-0,062*** (0,020)
Nordeste	La Niña	0,122** (0,051)	0,160*** (0,056)	0,130*** (0,041)	0,066** (0,028)
Norte	El Niño	0,038 (0,024)	-0,025 (0,018)	-0,041** (0,019)	-0,062*** (0,020)
Norte	La Niña	0,023 (0,018)	-0,029 (0,018)	-0,015 (0,023)	-0,020 (0,020)

Notas: erros-padrão de Conley, com cutoff de 200 km, entre parênteses. Significância: *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$. Todas as especificações incluem efeitos fixos de microrregião e de ano e tendências lineares por macrorregião.

O padrão de arroz e feijão é distinto: os efeitos negativos de El Niño aparecem com clareza e concentram-se no Norte e no Nordeste. No Nordeste, anos de El Niño reduzem o rendimento do arroz (-0,114) e do feijão (-0,062); no Norte, observa-se o mesmo padrão. Isso é coerente com o mecanismo climático esperado, já que o El Niño tende a reduzir a precipitação nessas regiões, afetando diretamente lavouras de sequeiro.

A assimetria entre as fases também aparece no Sul: a La Niña associa-se a redução relativa do rendimento do milho, compatível com as estiagens que atingem a região nessa fase, enquanto o arroz, majoritariamente irrigado, mostra resposta menos negativa. No Centro-Oeste, os coeficientes são em geral menos precisos, com intervalos de confiança mais amplos, o que recomenda cautela na interpretação.

A Figura 1 sintetiza os coeficientes estimados para El Niño e La Niña, com seus respectivos intervalos de confiança. Essa visualização permite comparar, para cada cultura e região, se os efeitos estimados são positivos, negativos ou estatisticamente indistintos de zero.

Por sua vez, a Figura 2 apresenta uma síntese espacial dos efeitos estimados para anos de El Niño. O mapa reforça a concentração dos efeitos negativos em arroz e feijão nas regiões Norte e Nordeste. Tons de vermelho indicam perdas relativas, enquanto tons de azul indicam ganhos relativos. Como o Sudeste é a região de referência, ele aparece em cinza.

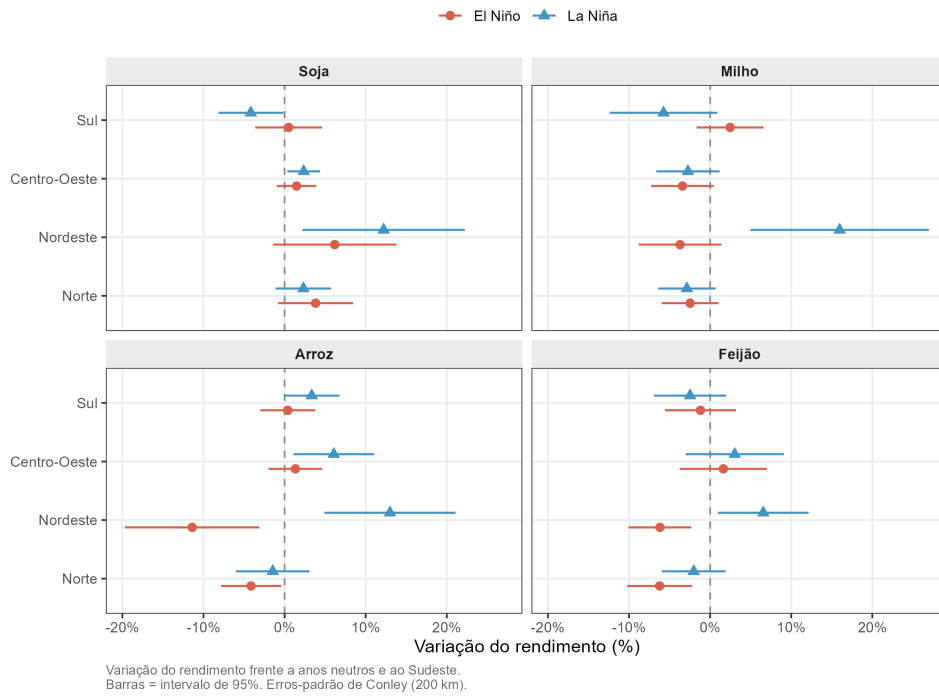


Figura 1. Variação diferencial do rendimento em anos de El Niño e La Niña, por região e cultura, em relação a anos neutros e ao Sudeste. As barras horizontais representam intervalos de confiança de 95%, com erros-padrão de Conley (200 km).

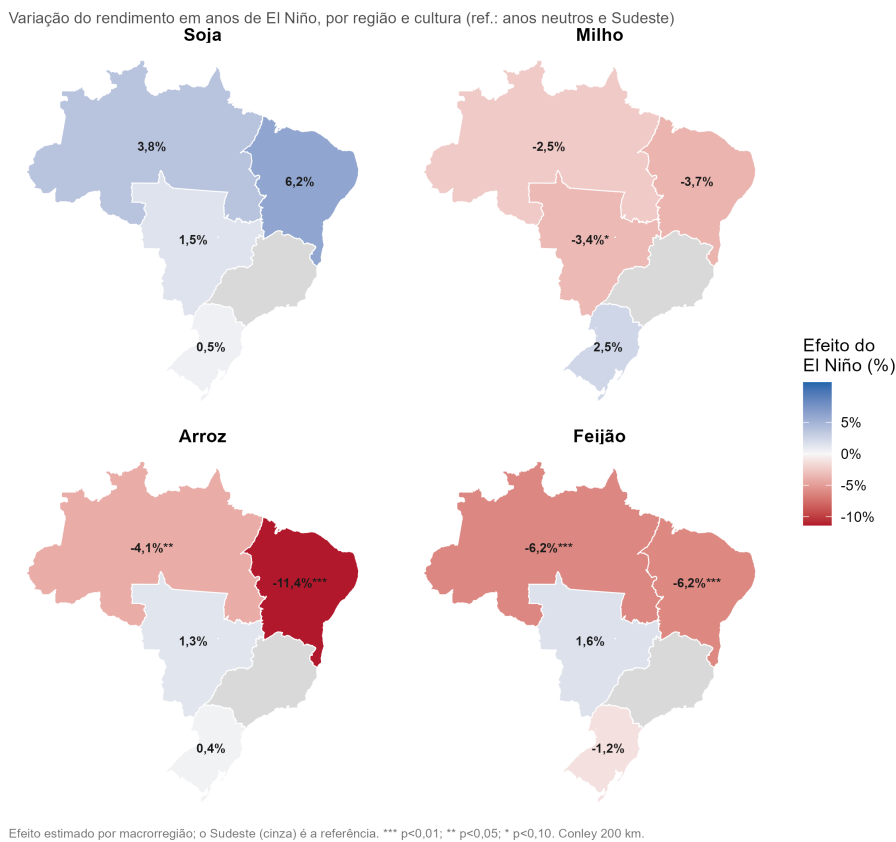


Figura 2. Variação diferencial do rendimento em anos de El Niño, por região e cultura, em relação a anos neutros e ao Sudeste. Tons de vermelho indicam perdas relativas e tons de azul indicam ganhos relativos. O Sudeste, em cinza, é a região de referência.

• Análise de robustez

Os resultados principais são robustos a diferentes escolhas metodológicas. A inferência não se altera quando se varia o cutoff da correção espacial de Conley entre 100 e 500 km ou quando se clusteriza por unidade da Federação. A inclusão de defasagens do ONI não modifica os coeficientes contemporâneos, indicando que o choque climático age predominantemente sobre a safra em campo. Um teste placebo com o ONI da safra seguinte produz coeficientes próximos de zero e estatisticamente insignificantes (R^2 within de apenas 0,0002), o que afasta a hipótese de que os resultados reflitam tendências regionais mal controladas — se assim fosse, o ONI futuro teria poder explicativo espúrio, dada a persistência serial dos eventos ENOS. Por fim, a presença de sinais opostos entre culturas de uma mesma região, como milho e arroz no Sul, é difícil de conciliar com confundidores regionais genéricos.

■ Em síntese

Os resultados indicam que os efeitos do ENOS sobre o rendimento agrícola brasileiro são marcadamente heterogêneos. A fase do fenômeno importa, mas seus impactos dependem da região, da cultura e do sistema produtivo. O El Niño não produz perdas generalizadas em todas as lavouras; seus efeitos negativos aparecem de forma mais consistente em arroz e feijão no Norte e no Nordeste.

Em anos de El Niño, os rendimentos de arroz e feijão apresentam desempenho relativamente inferior no Norte e no Nordeste, quando comparados aos anos neutros e ao Sudeste. No Nordeste, o rendimento do arroz é cerca de 11% menor e o do feijão cerca de 6% menor; no Norte, os efeitos estimados também são negativos, com recuos relativos de aproximadamente 4% para o arroz e 6% para o feijão.

Já a soja e o milho, mais concentrados em áreas tecnificadas ou com regime de chuvas distinto, não apresentam perdas claras associadas ao El Niño. Os resultados mostram, inclusive, ganhos relativos em várias culturas nordestinas, especialmente soja e milho, associados à ocorrência de La Niña.

Duas ressalvas ajudam a interpretar esses números com a devida cautela. Primeiro, os resultados expressam diferenças de desempenho entre regiões, e não a variação absoluta da safra nacional: eles indicam onde o risco se concentra, não o tamanho total de eventuais perdas. Segundo, como cada cultura pode ter mais de uma safra ao longo do ano, os efeitos estimados representam uma média dessas safras — ressalva especialmente pertinente ao feijão, plantado em mais de um ciclo anual e, portanto, sujeito a exposições distintas ao clima.

Esse contraste regional e entre culturas tem implicações práticas diretas, sobretudo diante do episódio de El Niño previsto para os meses finais de 2026 e iniciais de 2027. O risco climático estimado associado ao El Niño aparece menos concentrado nas grandes lavouras de soja do Centro-Oeste e do Sul e mais concentrado nas culturas alimentares do Norte e do Nordeste. Esse padrão tem relevância para a precificação de seguros, o planejamento de estoques e a gestão de preços regionais. Os resultados sugerem que instrumentos de proteção, como o seguro rural e o Garantia-Safra, podem se beneficiar de uma priorização analítica das lavouras de arroz e feijão nas regiões Nordeste e Norte do país.

■ Referências

- Grimm, Alice M. (2003). “The El Niño Impact on the Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences”. Em: *Journal of Climate* 16.2, pp. 263–280.
- Iizumi, Toshichika et al. (2014). “Impacts of El Niño Southern Oscillation on the Global Yields of Major Crops”. Em: *Nature Communications* 5, p. 3712. DOI: [10.1038/ncomms4712](https://doi.org/10.1038/ncomms4712).
- INPE et al. (abr. de 2026). *Nota Técnica — El Niño 2026*. Nota técnica conjunta. URL: https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/NotaTecnicaConjuntaElNino2026_INPEINMETFuncemeCENSIPAM.pdf (acesso em 13/06/2026).
- Lenssen, Nathan J. L., Lisa Goddard e Simon Mason (2020). “Seasonal Forecast Skill of ENSO Teleconnection Maps”. Em: *Weather and Forecasting* 35.6, pp. 2387–2406.
- NOAA (2026). *ENSO Diagnostic Discussion*. Climate Prediction Center. URL: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml (acesso em 13/06/2026).
- Paegle, Julia Nogués e Kingtse C. Mo (2002). “Linkages between Summer Rainfall Variability over South America and Sea Surface Temperature Anomalies”. Em: *Journal of Climate* 15.12, pp. 1389–1407.
- Tack, Jesse B. e David Ubilava (2013). “The Effect of El Niño Southern Oscillation on U.S. Corn Production and Downside Risk”. Em: *Climatic Change* 121.4, pp. 689–700. DOI: [10.1007/s10584-013-0918-x](https://doi.org/10.1007/s10584-013-0918-x).

Como citar: MIRO, Vitor Hugo. **Efeitos do El Niño na Produtividade Agrícola Brasileira:** Evidência para um painel de microrregiões (1990–2024). Fortaleza: LABDEA/UFC, Junho de 2026. (Prisma, n. 01).

As opiniões expressas são de responsabilidade dos autores e não refletem, necessariamente, a posição institucional do LABDEA ou da UFC.