

**EFEITOS DO EL NIÑO E LA NIÑA NO CLIMA E SEGURO AGRÍCOLA NA
REGIÃO SUL DO BRASIL**
**EFFECTS OF EL NIÑO AND LA NIÑA ON CLIMATE AND AGRICULTURAL
INSURANCE IN SOUTHERN BRAZIL**

Ronaldo Torres

Universidade de São Paulo (USP/ESALQ)

torresronaldobr@gmail.com

Beatriz Salandin Dal Pozzo

Universidade de São Paulo (USP/ESALQ)

beatriz.pozzo@usp.br

Vitor Augusto Ozaki

Universidade de São Paulo (USP/ESALQ)

vitorozaki@usp.br

Grupo de Trabalho (GT): GT2. Governança e gestão do agronegócio

Resumo

Neste artigo, avaliou-se os impactos dos fenômenos El Niño e La Niña nas variáveis climáticas entre 2000 e 2022, e nas apólices de seguro do Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR) para a soja na região Sul do Brasil entre 2006 e 2021. A análise é dividida em duas fases: primeiramente, utilizando técnicas como Causalidade de Granger e Painel Pooled, examina-se o efeito desses fenômenos climáticos nas variáveis climáticas. Em seguida, com modelos de Painel Probit e Logit, avalia-se o efeito desses fenômenos climáticos na sinistralidade das apólices de seguro da soja. Os resultados indicam que tanto o El Niño quanto o La Niña influenciam a temperatura e a precipitação na região analisada. No que diz respeito às apólices de seguro, em anos de forte El Niño, se há um aumento na probabilidade de um município receber indenizações das apólices de seguro para a soja, de aproximadamente 5 pontos percentuais, enquanto para o forte La Niña, a probabilidade aumenta cerca de 6 pontos percentuais.

Palavras-chave: Seguro agrícola, El Niño, La Niña, PSR.

Abstract

This article assesses the impact of the El Niño and La Niña phenomena on climate variables between 2000 and 2022, and on insurance policies under the Rural Insurance Premium Subsidy Program (PSR) for soybeans in southern Brazil between 2006 and 2021. The analysis is divided into two phases: first, using techniques such as Granger Causality and Panel Pooled, the effect of these climatic phenomena on climate variables is examined. Then, using Probit and Logit Panel models, the effect of these climatic phenomena on the loss ratio of soybean insurance policies is evaluated. The results indicate that both El Niño and La Niña influence temperature and rainfall in the region analyzed. With regard to insurance policies, in years of strong El Niño, there is an increase in the probability of a municipality receiving indemnities from soybean insurance policies of approximately 5 percentage points, while for strong La Niña, the probability increases by around 6 percentage points.

Key words: Crop insurance, El Niño, La Niña, PSR.

1. Introdução

As condições climáticas são principais fatores determinantes de perdas na agricultura, secas, tempestades e chuvas intensas causam diversos danos à produção, infraestrutura e ativos relacionados a atividades agrícolas, segundo do United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), entre o período compreendido entre 1997 e 2017, 90% dos grandes eventos catastróficos registrados estavam diretamente relacionados com fatores climáticos.

A região Sul do Brasil é uma das áreas mais afetadas pela influência dos eventos El Niño-Southern Oscillation (ENSO), que, conforme Cunha et al. (2011), resultam em ciclos de

secas e enchentes na região. Essas condições adversas têm impacto significativo na produção local de alimentos, conforme afirmam Araujo et al. (2012), sendo responsáveis pela redução da produtividade das culturas agrícolas.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul respondem por 31,13% da área cultivada de soja no total nacional em 2022. No entanto, os dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o mesmo ano revelam que os estados do Sul contrataram 50,71% dos recursos destinados à subvenção do seguro rural para a cultura da soja no âmbito do Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR). Isso indica que, embora não sejam a principal região produtora de soja, a região Sul é a que mais demanda recursos para o seguro rural.

A minimização dos efeitos climáticos por meio da adoção de seguros agrícolas, é um instrumento que, de acordo com Ozaki (2005), impulsiona o desenvolvimento da agricultura, proporcionando proteção aos produtores rurais contra eventos climáticos adversos. No entanto, para as seguradoras, a interdependência entre as áreas seguradas, devido à intensidade dos fenômenos meteorológicos nas atividades agrícolas, torna o seguro suscetível a riscos sistêmicos, também conhecidos como riscos de eventos generalizados, que podem criar uma situação desfavorável para o setor de seguros (OZAKI et al., 2009).

Dessa forma, o objetivo deste artigo é avaliar os efeitos do ENSO sobre as variáveis climáticas na região Sul do Brasil e os efeitos sobre o seguro rural. Logo, foi realizada uma avaliação dos efeitos do ENSO sobre a temperatura e na precipitação registradas nos municípios da região, com a utilização de metodologias como Causalidade de Granger e modelos de Painel Pooled. Em seguida, foram analisados os efeitos dos eventos ENSO na sinistralidade das apólices de seguros contratadas no âmbito do Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR) para a cultura da soja nos municípios da região, utilizando modelos de Painel Probit e Logit.

Além dessa seção de introdução, este artigo foi organizado da seguinte forma: a seção 2 é uma revisão de literatura que explora os efeitos do ENSO na agricultura, A seção 3 apresenta a metodologia utilizada no trabalho. Nas seções 4 e 5 são analisados os resultados da pesquisa e em seguida, são apresentadas as conclusões.

2. Revisão de Literatura

A Região Sul do Brasil é uma das regiões que possui as estações durante o ano bem definidas, com um inverno frio em que se tem a ocorrência de formação de geadas e verões quentes e com a presença de primaveras e outonos amenos. Segundo Wrege et al. (2012) se tem a existência de três tipos climáticos para a região, sendo eles: primeiro Cfa que é o tipo climático subtropical; segundo seria o Cfb é o tipo climático temperado; e por último o Af é o tipo tropical.

A região Sul também é afetada pelas alterações na temperatura das águas do pacífico, evento esse denominado El Niño-Southern Oscillation (ENSO), que resultam em anomalias climáticas conhecidos por La Niña e El Niño. Segundo Cunha et al. (2011) o resfriamento das águas do pacífico, alteração denominada por La Niña, resulta na redução das chuvas na Região Sul, isto ocorre devido ao enfraquecimento da umidade proveniente do Pacífico, combinado com bloqueios atmosféricos que fazem as frentes frias se moverem mais rapidamente ou desviem para o oceano.

No caso de ocorrência do fenômeno El Niño, há um aquecimento anormal das águas do Pacífico Equatorial. Esse aquecimento, combinado com o enfraquecimento dos ventos alísios, resulta na redução da ressurgência de águas frias. Como consequência, as frentes frias tendem

a permanecer semi-estacionadas no extremo sul do Brasil, provocando chuvas intensas que excedem o normal (CUNHA et al., 2011).

De acordo com Araujo et al. (2012) o fenômeno La Niña e o evento La Niña têm impactos diretos na economia regional da região Sul, resultando em quedas na produtividade das culturas agrícolas devido às condições adversas que acompanham sua ocorrência. Esses períodos estão fortemente associados a quebras de safra na região, o que por sua vez provoca um aumento significativo nos preços dos alimentos.

O ENSO é um fenômeno climático que exerce influência significativa em outras regiões do mundo, e diversos estudos têm sido realizados para compreender suas implicações na agricultura. Na China, essas pesquisas visam quantificar os impactos desse fenômeno na agricultura (DENG et al., 2010; SHUAI et al., 2016; LI; STRAPASSON; ROJAS, 2020), em que se encontram evidências de que os efeitos do ENSO resultam em alterações no regime de chuvas na China, porém, seus efeitos na agricultura dependem do ciclo agrícola e do tipo de cultura, enfatizando a necessidade de compreender as especificidades locais para um planejamento agrícola e gerenciamento de riscos eficazes.

Na África, o ENSO também tem influência no clima, com alterações nos padrões de chuva, sendo mais evidentes nas regiões da África Oriental e Austral (HENCHIRI et al., 2021; SAZIB; MLADENOVA; BOLTEN, 2020). Essas flutuações climáticas têm um impacto direto na atividade agrícola, afetando a produção de alimentos de maneira variável, dependendo da localização geográfica e das condições climáticas específicas associadas a esse fenômeno. Em que as informações de previsão do ENSO poderiam ser úteis como um alerta antecipado para potenciais desafios enfrentados pela agricultura e a segurança alimentar.

Nas Américas também se constata os efeitos do ENSO, abrangendo tanto a América do Norte, com pesquisas que avaliam seus impactos nos Estados Unidos (ATEMS; SARDAR, 2021; TACK; UBILAVA, 2013) quanto países da América Latina (DE LA CASA; OVANDO; DÍAZ, 2021; PENALBA; RIVERA, 2016). Esses estudos abordam as perdas de produtividade associadas ao fenômeno ENSO e suas implicações na redução da produção agrícola. Essas reduções, por sua vez, reverberam nos preços dos produtos agrícolas, desencadeando impactos econômicos.

No contexto da avaliação global dos efeitos do ENSO, conforme observado por Lizumi et al. (2014) o El Niño tem um impacto positivo na produção média global de soja, mas reduz a produção de milho, arroz e trigo. Por outro lado, os rendimentos médios globais das quatro safras durante os anos de La Niña demonstram consistentemente estar abaixo do normal. No entanto, é importante destacar a heterogeneidade das respostas climáticas aos eventos, embora haja evidências substanciais de que os eventos ENSO afetam significativamente o crescimento, especialmente a produtividade total, que é afetada negativamente devido aos atrasos do ENSO nos padrões climáticos, como argumentado por Generoso et al. (2020).

Os efeitos do ENSO também têm a capacidade de afetar além da agricultura, conforme apontam Collier, Katchova e Skees (2011), esses eventos resultam em um aumento significativo na demanda por empréstimos problemáticos no Peru. Isso destaca a importância de considerar a gestão bancária na avaliação do risco de desastres por parte das instituições financeiras e enfatiza a necessidade de estratégias de reestruturação de longo prazo para minimizar as perdas e lidar com os impactos de desastres naturais na comunidade.

Dada a heterogeneidade nas respostas climáticas e financeiras ao ENSO, este estudo tem como objetivo contribuir para a literatura ao examinar os impactos desses eventos climáticos e implicações para o mercado de seguros agrícolas na região Sul do Brasil, que enfrenta desafios climáticos significativos durante sua ocorrência. Nossa análise se concentrará especificamente nos efeitos do ENSO sobre a temperatura, precipitação e nas apólices de seguro relacionadas com o cultivo de soja.

3. Metodologia

Para atender aos objetivos deste estudo, serão delineadas duas etapas distintas. Na primeira etapa, será realizada uma avaliação dos impactos dos eventos ENSO nas variáveis climáticas, enquanto a segunda etapa se concentrará na análise dos efeitos do ENSO sobre os resultados do seguro rural. Ambas as etapas serão levadas em consideração fatores geográficos e características do solo, para isso será utilizado a classificação dos municípios por regiões edafoclimáticas (MAPA, 2022).

Na primeira etapa, serão conduzidos testes de causalidade, utilizando o Teste de Causalidade de Granger, para verificar se a temperatura do Pacífico tem um efeito causal, no sentido de Granger, sobre a precipitação e a temperatura nas regiões edafoclimáticas. O teste parte da hipótese nula de que não há causalidade Granger (GRANGER, 1969). Além disso, serão realizadas estimativas específicas para os meses correspondentes à janela de cultivo da soja na região em estudo.

Ainda na primeira etapa, foram estimados dois modelos de dados em painel, sendo utilizado um painel Pooled para avaliar os efeitos dos eventos ENSO sobre a precipitação e a temperatura (Ver equações 1 e 2) dos municípios de cada região edafoclimática. Nesta processo, é necessário classificar os eventos ENSO com a criação de dummies, para isso se utilizará a Temperatura da Superfície do Oceano Pacífico (TSOP) classificando conforme os limiares em Fraco (com uma anomalia TSOP de 0,5 a 0,9) e Forte ($\geq 1,0$), para eventos de El Niño, e critérios opostos para eventos de La Niña.

$$Prec_{it} = \beta_0 + \beta_1 Fraco EN_{it} + \beta_2 Forte EN_{it} + \beta_3 Fraco LN_{it} + \beta_4 Forte LN_{it} + dummies\ Mês + \mu_{it} \quad (1)$$

$$Temp_{it} = \beta_0 + \beta_1 Fraco EN_{it} + \beta_2 Forte EN_{it} + \beta_3 Fraco LN_{it} + \beta_4 Forte LN_{it} + dummies\ Mês + \mu_{it} \quad (2)$$

Em que temos que $Prec_{it}$ e $Temp_{it}$ são respectivamente a precipitação e a temperatura média mensal para o município i no período t , ainda EN é referente ao evento El Niño e LN para o evento La Niña.

Já para a análise dos efeitos do ENSO sobre o seguro rural, serão usados modelos de logit e probit para painel de dados. Em que segundo Baltagi (2021) a elaboração de um painel probit e logit, é composta por uma variável dependente binária, representando a escolha binária que assume $y_{it} = 1$ se o evento de sinistralidade do seguro PSR acontece e 0 caso contrário, para o município i no tempo t . Usualmente modelada pela equação 3.

$$y_{it}^* = x'_{it} \beta + \alpha_i + v_{it} \quad (3)$$

Em que α_i são os efeitos não observados, x'_{it} é o conjunto de variáveis explanatórias e v_{it} é o termo de erro. Já y_{it}^* é uma variável latente, que na equação é representada a ocorrência de sinistralidade para o seguro rural. Sendo, observado que a realização disso (ocorrência de sinistralidade) descrita de tal forma que:

$$y_{it} = \begin{cases} 1 & \text{se } y_{it}^* > 0 \\ 0 & \text{se } y_{it}^* \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Onde, então temos:

$$\Pr[y_{it} = 1] = \Pr[y_{it}^* > 0] = \Pr[\mu_{it} > -x'_{it}\beta] = F(x'_{it}\beta) \quad (5)$$

Em que a última igualdade é válida quando a função de densidade que descreve $F1$ é simétrica em torno de zero. Isso se aplica para as funções logística e de densidade normal.

Em relação as variáveis explanatorias utilizadas nesta etapa serão compostas pela Precipitação e Temperatura registrada, bem como dummies relacionadas aos eventos climáticos adversos do ENSO.

Neste trabalho, foram utilizados dados climáticos obtidos por satélite, coletados por município na região Sul, no período diário de 2000 a 2022. A precipitação média (mm/dia) foi obtida por meio do Climate Hazards group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), enquanto os dados relacionados à temperatura média da superfície foram obtidos junto ao European Environment Agency (ERA5). Os dados da temperatura foram inicialmente registrados em Kelvin e posteriormente convertidos para graus Celsius. Ambos os conjuntos de dados foram coletados junto ao Google Earth Engine (2023), com o auxílio do software R e do pacote RGEE (2023).

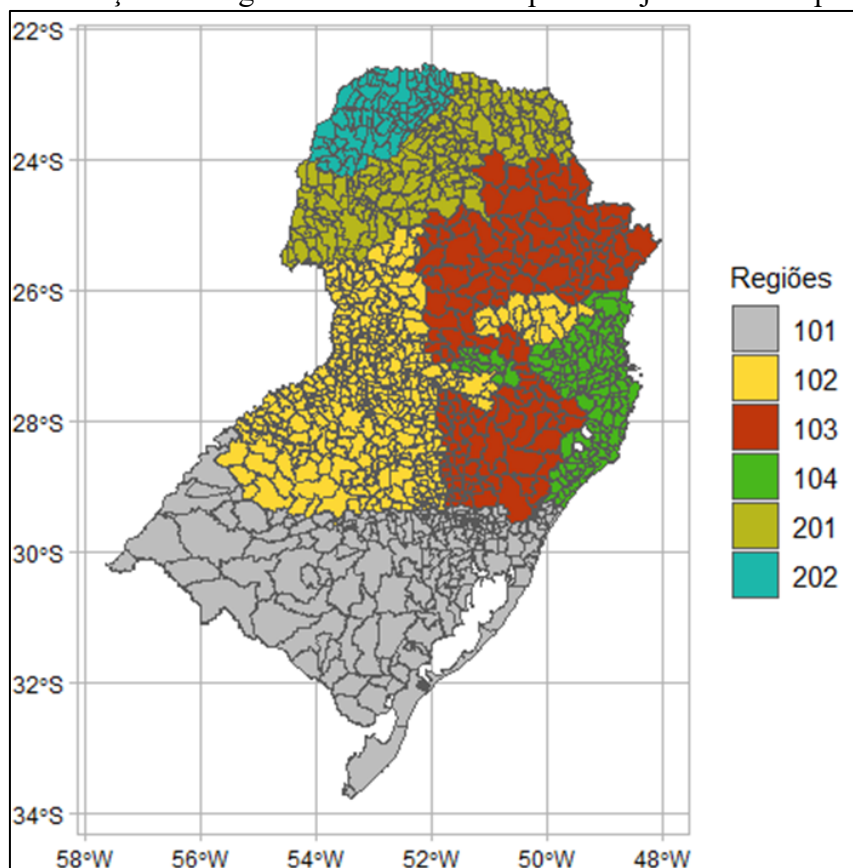
Para identificar os períodos de ocorrência dos eventos ENSO, utilizaremos os dados de monitoramento da temperatura do Oceano Pacífico fornecidos pelo Climate Prediction Center (2023). Dados esses coletados na frequência mensal para o período de 2000 a 2022.

Também serão utilizados dados referentes às informações das apólices de seguro que recebem subvenção do Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR). Essas informações foram coletadas por município no período de 2006 a 2021 e foram obtidas junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2023).

Na análise, também serão consideradas as características regionais, incluindo o uso da classificação edafoclimática para a soja, uma categorização que agrupa regiões com características de solo e clima semelhantes (MAPA, 2022). Na região Sul, a classificação cria seis grupos, como podem serem visualizados na Figura 1.

¹ Se $F(x'_{it}\beta) = \Phi(x'_{it}\beta)$ para modelos probit e $F(x'_{it}\beta) = \Lambda(x'_{it}\beta)$ para modelos logit.

Figura 1 – Classificação das regiões Edafoclimáticas para a soja dos municípios da região Sul

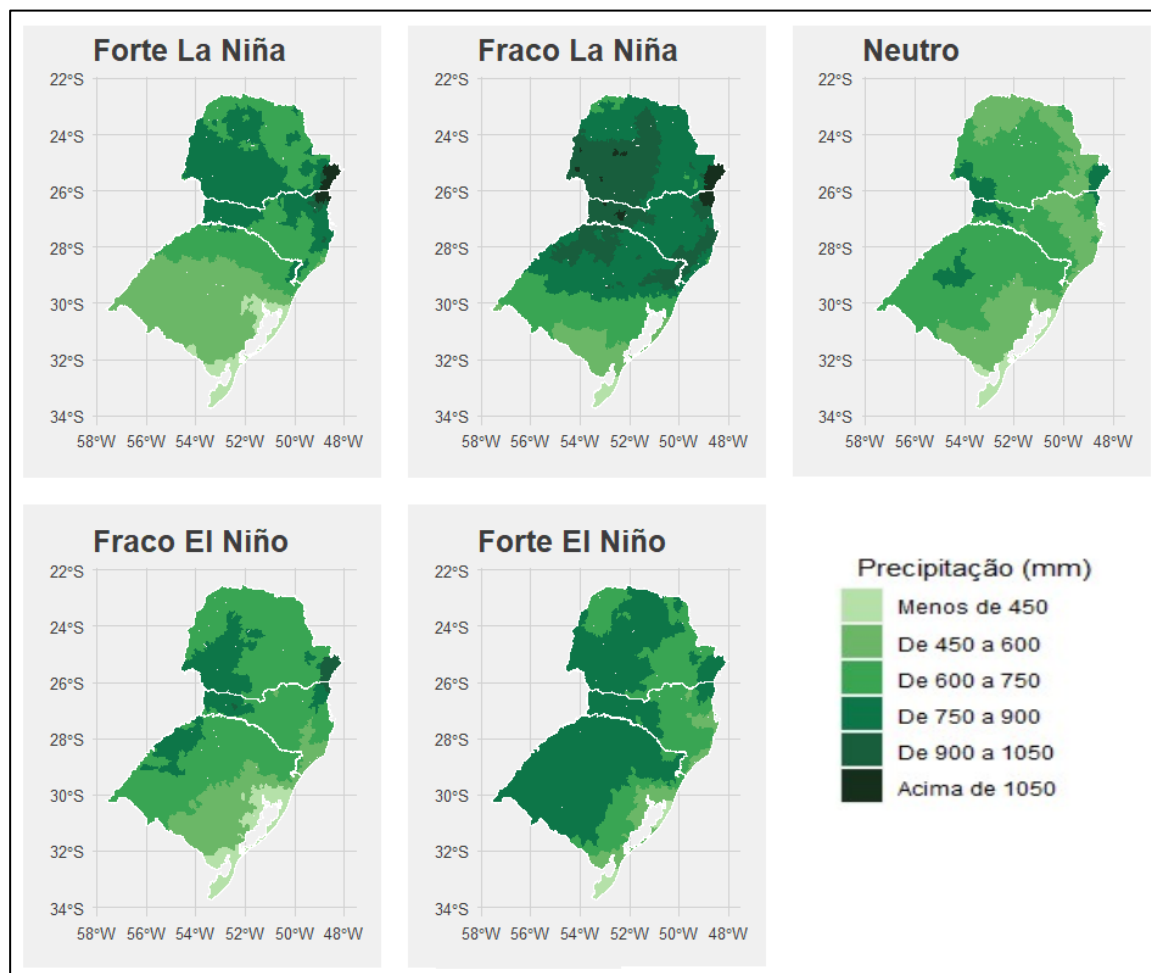


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da MAPA (2022).

4. Resultados

Na etapa que investiga os efeitos das variações na temperatura do Pacífico, em particular os eventos ENSO, sobre a precipitação na região Sul, apresentamos os padrões médios de precipitação na Figura 2. Nessa figura, observamos que os municípios localizados no Sul do estado do Rio Grande do Sul são os que mais demonstram alterações em resposta a essas anomalias. Em períodos de ocorrência do fenômeno La Niña, há uma restrição na quantidade de precipitação, enquanto em épocas de El Niño, os valores de precipitação aumentam.

Figura 2 – Precipitação acumulada nos meses de cultivo da soja conforme os eventos ENSO para os municípios da Sul no período de 2000 à 2022



Fonte: elaboração própria com base nos dados NOAA (2022) e Google Earth (2023).

Nota: A precipitação refere-se à soma do acumulado em milímetros durante os meses de cultivo da soja na região Sul, que abrangem os meses de outubro a fevereiro. Essa soma é calculada com base na média para cada tipo de evento climático ocorrido ao longo dos anos da pesquisa.

Na etapa seguinte, se utilizam os testes de Causalidade de Granger, para avaliar os efeitos das flutuações na temperatura do Pacífico sobre a temperatura e precipitação registrada dos municípios da região Sul (Ver Tabela 1). Os resultados das flutuações na temperatura do Pacífico apresentam significância estatística ao exercer uma influência causal no sentido Granger sobre os padrões de precipitação nas regiões Edafoclimáticas da região Sul. Resalta-se que esta influência causal foi observada em todas as regiões edafoclimáticas, com exceção das regiões edafoclimáticas 104 e 202 nos dados completos, bem como na região edafoclimática 104 durante o período de cultivo da soja.

Quanto ao impacto da temperatura do Pacífico na temperatura das regiões edafoclimáticas, os resultados indicam que o efeito causal no sentido Granger se restringe às regiões edafoclimáticas 102, 103 e 104 no conjunto completo de dados. E ao considerar a amostra específica relativa ao período de cultivo da soja, obteve-se que apenas a região edafoclimática 104 apresentou significância estatística nesse contexto.

Tabela 1 – Análise de Causalidade de Granger: influência da temperatura do pacífico na precipitação e temperatura (2000-2022)

Região Edafoclimática	Precipitação		Temperatura	
	Completa	Safra ¹	Completa	Safra ¹
101	12,1887***	4,4807***	1,4573	1,3144
102	5,8099***	6,0306***	1,9638**	1,0182
103	3,7922**	3,4015**	1,9076**	1,4435
104	1,2389	0,7612	1,8026**	1,7110*
201	1,8811**	6,1367***	1,2477	0,5704
202	1,4615	2,6223*	1,2044	0,1719

Fonte: elaboração própria com base nos dados NOAA (2022) e Google Earth (2023).

Nota: ¹Safra se refere somente aos meses de cultivo da soja na região Sul, que abrangem os meses de outubro a fevereiro; (***), (**) e (*) indicam significância estatística ao nível de significância de 1%, 5% e 10% respectivamente.

Na análise dos efeitos dos eventos ENSO sobre a precipitação nas regiões edafoclimáticas (ver Tabela 2), a maioria das regiões responde de alguma forma a esses eventos. Em que as regiões 101, 102 e 103 demonstraram uma tendência significativa de redução na precipitação durante a ocorrência do La Niña, com efeitos mais acentuados durante o período de cultivo da soja. No entanto, nas demais regiões, os efeitos do La Niña foram menos pronunciados, variando em magnitude e até mesmo incluindo aumentos na precipitação em alguns casos.

Já na ocorrência do El Niño, os efeitos são dependentes da intensidade do evento climático. Durante o El Niño de fraca intensidade, observamos predominância de efeitos positivos na precipitação em todas as regiões edafoclimáticas ao longo do período completo. No entanto, essa tendência não se mantém quando se leva em consideração o período de cultivo da soja, no qual algumas regiões sofrem reduções na precipitação (regiões 101, 102, 103 e 104), enquanto em outras regiões a fraca intensidade do evento climático, leva um aumento na precipitação (regiões 201 e 202).

Quando se avalia a ocorrência de eventos El Niño de forte intensidade, observa-se consistentemente efeitos positivos sobre a precipitação, tanto para o período completo quanto para os meses correspondentes ao cultivo da soja. De forma geral, o El Niño forte resulta em um aumento mínimo de pelo menos 43 mm na precipitação mensal nas regiões analisadas, e em algumas regiões, esse aumento pode ser ainda mais substancial, chegando a superar 70 mm na média mensal.

Tabela 2 – Análise dos impactos dos padrões climáticos do ENSO (2000-2022) na precipitação das regiões (Painel Pooled)

Região	Intercepto	Forte LN	Fraco LN	Fraco EN	Forte EN
Período completo					
101	146,9225***	-23,6949***	-3,8141***	5,807***	73,8913***
102	183,1144***	-14,4768***	-14,2229***	8,2485***	61,4843***
103	192,8047***	-6,977***	-3,9982***	7,6693***	53,385***
104	202,5641***	3,9004***	3,7246***	8,014***	44,5119***
201	203,3012***	-3,9292***	-3,2514***	12,8601***	51,2298***
202	178,5625***	3,1672**	-0,783	16,3098***	43,5686***
Safra¹					
101	161,1938***	-46,609***	-11,8523***	-17,9413***	63,5019***
102	192,8668***	-43,2355***	-12,1527***	-7,8132***	61,8085***
103	200,967***	-18,6804***	-6,2304***	-7,7106***	52,5244***
104	203,8359***	1,9903	8,879***	-2,8277**	46,2099***
201	201,6713***	-9,3825***	10,0518***	15,6064***	64,9548***
202	172,8112***	5,3482**	14,8162***	28,2504***	64,0041***

Fonte: elaboração própria com base nos dados NOAA (2022) e Google Earth (2023).

Nota: 1Safra se refere somente aos meses de cultivo da soja na região Sul, que abrangem os meses de outubro a fevereiro; (***), (**) e (*) indicam significância estatística ao nível de significância de 1%, 5% e 10% respectivamente

Na análise dos efeitos dos eventos ENSO sobre a temperatura das regiões edafoclimáticas (conforme detalhado na Tabela 3), o evento La Niña tende a provocar uma redução nas temperaturas em comparação com períodos normais. Essa tendência é observada em todas as regiões edafoclimáticas na amostra completa de dados, e também em parte das regiões quando se considera apenas o período de cultivo da soja. Esses resultados são atribuídos ao fato de que o La Niña aumentar a probabilidade de ocorrência de geadas tardias, o que, por sua vez, contribui para a queda nas temperaturas em diversas regiões.

Quando ocorre o El Niño, predominam aumentos nas temperaturas médias em comparação com períodos sem a ocorrência de eventos ENSO. Esse padrão é observado em todas as regiões e durante ambos os períodos estudados. Essa tendência se deve ao fato de que o El Niño, de maneira análoga ao La Niña, reduzir a probabilidade de ocorrência de geadas tardias, o que contribui para o aumento das temperaturas médias nas regiões analisadas.

De forma geral, os eventos La Niña e El Niño podem efetivamente contribuir para o aumento das oscilações nas temperaturas, levando a extremos climáticos mais significativos. Conforme aponta Coelho (2018), eventos intensos de El Niño tendem a reduzir a ocorrência de geadas, enquanto eventos fortes de La Niña implicam em geadas mais intensas e frequentes. Essas observações sustentam os resultados obtidos, que indicam que as temperaturas são influenciadas pelos eventos ENSO.

Tabela 3 – Análise dos impactos dos padrões climáticos do ENSO (2000-2022) na temperatura das regiões (Painel Pooled)

Região	Intercepto	Forte LN	Fraco LN	Fraco EN	Forte EN
Período completo					
101	24,5774***	-0,3303***	-0,3853***	0,1593***	0,1726***
102	24,147***	-0,1656***	-0,2439***	0,2285***	0,3398***
103	21,696***	-0,3073***	-0,3166***	0,273***	0,5265***
104	23,1823***	-0,4144***	-0,4112***	0,2154***	0,5337***
201	24,6367***	-0,0792***	-0,1478***	0,2124***	0,2886***
202	26,254***	-0,0439	0,1861***	0,1432***	0,1969***
Safra¹					
101	24,3825***	0,0679**	-0,0563*	0,3096***	0,2674***
102	23,9281***	0,309***	0,0407*	0,415***	0,5354***
103	21,6199***	-0,1221***	-0,1911***	0,2609***	0,6359***
104	23,1598***	-0,3431***	-0,2991***	0,1337***	0,5536***
201	24,5681***	0,1229***	-0,1752***	0,1864***	0,3232***
202	26,2098***	0,0477	-0,3093***	0,1171***	0,1907***

Fonte: elaboração própria com base nos dados NOAA (2022) e Google Earth (2023).

Nota: ¹Safra se refere somente aos meses de cultivo da soja na região Sul, que abrangem os meses de outubro a fevereiro; (***), (**) e (*) indicam significância estatística ao nível de significância de 1%, 5% e 10% respectivamente

Os resultados obtidos quanto à influência da temperatura do Pacífico na precipitação e temperatura registradas nos municípios da região Sul revelam uma relação significativa na maioria das áreas analisadas. Isso corrobora a afirmação de Cunha et al. (2011) de que a região em análise seria impactada por variações climáticas decorrentes da mudança na umidade proveniente do Pacífico, combinada com os efeitos atmosféricos que alteram o movimento das frentes frias durante a ocorrência dos eventos ENSO.

Na etapa seguinte, se avalia os efeitos do ENSO sobre às apólices de seguro realizadas para o PSR, existem vários fatores podem levar ao acionamento dos seguros. Contudo, como visto na Tabela 4, a maioria dos sinistros está relacionada a eventos climáticos, sendo a Seca responsável por 83,05% dos sinistros, seguida por causas relacionadas a Enchentes (responsável por 10,28% das causas de sinistralidade). Sinistralidades relacionadas ao granizo ficam em terceiro lugar (com 5,91% das causas de sinistralidade), enquanto os demais eventos causadores de sinistros têm uma participação de 0,75%. De maneira geral, há uma concentração em poucos eventos causadores de sinistralidade, sendo a Seca o evento que mais causa danos ao produtor e, consequentemente, leva as seguradoras a efetuarem gastos com indenizações.

Outro ponto de destaque na Tabela 4 é a considerável participação de algumas regiões edafoclimáticas na contratação de seguros. Apenas a região 201 concentra 53,01% das apólices contratadas durante o período de análise, seguida pela região 102, que representa 20,28% do total. Isso indica, que se há uma concentração significativa na distribuição das apólices de seguro em algumas regiões.

Tabela 4 – Total de apólices por região e as respectivas causas de sinistralidade para a cultura da soja no período de 2006 à 2021

Região	Total apólices	Com sinistro	Seca	Enchente	Granizo	Demais causas
101	30204	4884	4101	637	87	59
102	85769	10246	9051	721	431	43
103	47009	2282	1596	217	429	40
104	2921	308	181	17	110	0
201	224548	23669	19819	2310	1392	148
202	32449	5749	4398	946	340	65
Total	422900	47138	39146	4848	2789	355

Fonte: elaboração própria com base nos dados MAPA (2023).

Como visto anteriormente, que os eventos que levam a sinistralidade das apólices são relacionados principalmente a secas e enchentes, e que ambos eventos na região de análise tem suas principais causas relacionadas a ocorrência dos fenômenos ENSO. Desta maneira, a utilização da metodologia Painel Probit e Logit, visa estimar os efeitos dos eventos La Niña e El Niño, sobre as apólices de seguro contratadas para os municípios da região Sul, como pode ser visualizado na Tabela 5.

Os resultados presentes na Tabela 5 evidenciam que os eventos ENSO possuem influência na sinistralidade registrada nos municípios nos quais são contratadas apólices de seguro para o PSR. Na amostra para todos os municípios da análise, as anomalias do ENSO, quando registradas em alta intensidade (Forte El Niño e Forte La Niña) aumentam a probabilidade de acionamento das apólices. Para a análise que compreende todos os municípios da região analisada, observa-se que em anos de Forte El Niño, há um aumento na probabilidade de um município receber indenização das apólices de seguro para a soja é de aproximadamente 5 pontos percentuais, enquanto para o Forte La Niña, a probabilidade aumenta em torno de 6 pontos percentuais.

Com relação aos resultados obtidos para as diferentes regiões edafoclimáticas, a maioria delas os efeitos dos eventos ENSO quando registrados em alta intensidade levam a um aumento na probabilidade de municípios dessas regiões acionarem suas apólices de seguro para a soja. É notável o destaque para a região edafoclimática 201, que não apenas lidera em termos de contratação de apólices, mas também registrou os maiores aumentos na probabilidade de acionamento das apólices. Durante anos de forte El Niño, a probabilidade de um município receber indenizações nesta região aumenta cerca de 10 pontos percentuais, e em relação aos eventos de forte La Niña, esse aumento chega a aproximadamente 16 pontos percentuais.

Para as anomalias do ENSO quando registradas em intensidade moderada (Fraco El Niño e Fraco La Niña) quando se avalia todos os municípios da região Sul, não se tem efeitos significativos sobre o aumento da probabilidade no acionamento das apólices de seguro para a cultura da soja. Contudo, quando se avalia por regiões edafoclimáticas os efeitos são heterogêneos entre as regiões, em que algumas regiões os eventos ENSO em intensidade Moderada podem aumentar ou reduzir a probabilidade de demanda por indenizações das apólices de seguros nos municípios de cada região.

Tabela 6 – Efeitos marginais padrões climáticos do ENSO na sinistralidade do seguro da soja no período de 2006 à 2021

Região Modelo	Precipitação	Temperatura	Forte LN	Fraco LN	Fraco EN	Forte EN	Observ.	Munic.
Todas	Logit	-0,0005*** (0,0001)	0,0716*** (0,0029)	0,0448*** (0,0117)	0,0027 (0,0134)	0,0023 (0,0137)	0,0616*** (0,0190)	10382
	Probit	-0,0005*** (0,0001)	0,0739*** (0,0030)	0,0504*** (0,0118)	0,0045 (0,0134)	0,0008 (0,0138)	0,0569*** (0,0188)	1007
101	Logit	-0,0003*** (0,0001)	0,1338*** (0,0173)	0,0290 (0,0456)	-0,0269 (0,0427)	0,1644*** (0,0427)	0,0395*** (0,043)	1113
	Probit	-0,0003*** (0,0001)	0,1329*** (0,0172)	0,0289 (0,0456)	-0,0289 (0,0424)	0,1656*** (0,0434)	0,0463 (0,0648)	1113
102	Logit	-0,0008*** (0,0001)	0,0573*** (0,0060)	-0,0174 (0,0179)	-	0,0283 (0,0223)	-0,0100 (0,0373)	3420
	Probit	-0,0007*** (0,0001)	0,0608*** (0,0062)	0,0036 (0,0186)	-0,0502** (0,0209)	0,0179 (0,0223)	0,0108 (0,0328)	3420
103	Logit	-0,0005*** (0,0001)	0,0963*** (0,0154)	0,0990*** (0,0264)	-0,0444 (0,0358)	-0,0588* (0,0331)	0,0051 (0,0456)	1647
	Probit	-0,0005*** (0,0001)	0,0987*** (0,0153)	0,1038*** (0,0272)	-0,0404 (0,035)	-0,0540 (0,0330)	-0,0033 (0,0450)	1647
104	Logit	-0,0003* (0,0001)	-0,0281 (0,0296)	0,0566 (0,0581)	-0,2606** (0,1069)	0,0861 (0,087)	-0,5643 (0,4289)	301
	Probit	-0,0003* (0,0001)	-0,025 (0,0296)	0,0584 (0,0580)	-	0,0854 (0,0869)	-0,4817 (0,3218)	301
201	Logit	-0,0003*** (0,0001)	0,1381*** (0,0095)	0,1063*** (0,0245)	0,2111*** (0,0276)	0,0383 (0,0264)	0,1657*** (0,0380)	2858
	Probit	-0,0003*** (0,0001)	0,1394*** (0,0095)	0,1075*** (0,0243)	0,2105*** (0,0275)	0,0371 (0,02644)	0,1638*** (0,0380)	2858
202	Logit	-0,0006*** (0,0001)	0,2172*** (0,0188)	0,0930*** (0,0364)	0,1332*** (0,0438)	0,0085 (0,0402)	0,1615*** (0,0678)	1043
	Probit	-0,0006*** (0,0001)	0,2204*** (0,0186)	0,0871** (0,0364)	0,1344*** (0,0441)	0,0001 (0,0406)	0,1489*** (0,0674)	1043

Fonte: Elaboração própria com base nos dados NOAA (2022), Google Earth (2023) e MAPA (2022)

Nota: ***, ** e * indicam significância estatística ao nível de significância de 1%, 5% e 10% respectivamente.

De maneira geral, os resultados obtidos nesta análise corroboram com o que é encontrado na literatura mundial sobre os efeitos do El Niño e La Niña. Em regiões influenciadas por esses eventos climáticos, observam-se a ocorrência desses eventos leva condições climáticas adversas que podem resultar em impactos negativos na agricultura, incluindo a redução da produtividade (TACK e UBILAVA, 2013; PENALBA e RIVERA, 2016; ATEMS e SARDAR, 2021; DE LA CASA, OVANDO e DÍAZ, 2021).

Em relação à situação financeira, Collier, Katchova e Skees (2011) já apontavam que esses eventos resultam em um aumento significativo na demanda por empréstimos problemáticos. O presente estudo confirma que os eventos ENSO também podem afetar os setores relacionados ao seguro rural, aumentando a probabilidade de sinistros. Isso ressalta a importância das seguradoras considerarem a gestão de riscos e a necessidade de estratégias de reestruturação a longo prazo para minimizar as perdas e lidar com os impactos de desastres naturais causados pelos eventos ENSO.

5. Conclusões

Este artigo buscou identificar, compreender e caracterizar os efeitos dos eventos ENSO sobre o clima e as apólices de seguro da soja na região Sul. Para isso se avaliou os efeitos do ENSO sobre a temperatura e a precipitação no período de 2000 a 2022 com o uso dos testes de Causalidade de Granger e de painéis Pooled. Já para os efeitos do ENSO na sinistralidade das apólices de seguro para a cultura da soja, foi realizada por meio de modelos de Painel Probit e Logit.

As anomalias associadas aos eventos ENSO impactam significativamente a distribuição das chuvas e das temperaturas registradas na região Sul, com ênfase nos municípios localizados no Sul do estado do Rio Grande do Sul. Durante o La Niña, se tem restrições na quantidade de precipitação e temperaturas mais baixas devido a geadas tardias, enquanto o El Niño está associado a aumentos na precipitação e temperaturas mais altas devido à redução das geadas tardias. Essa influência dos eventos ENSO nas condições de temperatura e precipitação foi confirmada através de testes de Causalidade de Granger e análises de dados em painel.

Em relação à sinistralidade das apólices de seguro para a cultura da soja, obteve-se que os eventos ENSO, quando ocorrem em alta intensidade, têm o potencial de aumentar a probabilidade de as apólices de seguro nos municípios serem acionadas. Isso enfatiza a importância de as seguradoras considerarem a gestão de riscos e levarem em consideração os eventos associados às anomalias climáticas causadas pelo ENSO, a fim de minimizar as perdas e enfrentar os impactos de desastres naturais."

Por fim, sugere-se que pesquisas futuras possam ser ampliadas para avaliar outros instrumentos financeiros, como o crédito. Se a demanda e o risco desses instrumentos aumentam durante períodos de eventos adversos causados pelo ENSO, tanto o sistema financeiro quanto o setor público estariam a adotar estratégias para garantir a disponibilidade de recursos nesses momentos de eventos adversos.

Referências

ARAÚJO, P. H. C.; FERES, J. G.; REIS, E. J.; BRAGA, M. J. Eventos climáticos extremos: efeitos dos fenômenos el niño e la niña sobre a produtividade agrícola. Brasil em desenvolvimento: estado, planejamento e políticas públicas, v. 2, 2013.

ATEMS, B.; SARDAR, N. Exploring asymmetries in the effects of El Niño-Southern Oscillation on US food and agricultural stock prices. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 81, p. 1–14, 2021.

BALTAGI, Badi H.; BALTAGI, Badi H. Dynamic panel data models. *Econometric analysis of panel data*, p. 187-228, 2021.

CLIMATE PREDICTION CENTER - ONI. [s. d.]. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 9 set. 2023.

COLLIER, B.; KATCHOVA, A. L.; SKEES, J. R. Loan portfolio performance and El Niño, an intervention analysis. *Agricultural Finance Review*, v. 71, n. 1, p. 98-119, 2011.

COELHO, L. A. F. Risco de Geadas associado à Temperatura na Mesorregião Oeste do Paraná: Universidade Federal de Pelotas, Recuperado em, 2018.

CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; PASINATO, A.; DA SILVA, A. A. G.; ASSAD, E. D.; DA ROSA, C. M. El Niño/La Niña-Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. *Revista Plantio Direto*, v. 2010, p. 19, 2011.

LA CASA, A. C.; OVANDO, G. G.; DÍAZ, G. J. ENSO influence on corn and soybean yields as a base of an early warning system for agriculture in Córdoba, Argentina. *European Journal of Agronomy*, v. 129, p. 126340, set. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126340>.

DENG, X.; HUANG, J.; QIAO, F.; NAYLOR, R. L.; FALCON, W. P.; BURKE, M.; ROZELLE, S.; BATTISTI, D. Impacts of El Niño-Southern Oscillation events on China's rice production. *Journal of Geographical Sciences*, v. 20, n. 1, p. 3–16, fev. 2010. <https://doi.org/10.1007/s11442-010-0003-6>.

GENEROSO, R.; COUHARDE, C.; DAMETTE, O.; MOHADDES, K. The growth effects of El Niño and La Niña: Local weather conditions matter. *Annals of Economics and Statistics*, n. 140, p. 83–126, 2020.

GOOGLE EARTH ENGINE. [s. d.]. A planetary-scale platform for Earth science data & analysis. [data base]. Disponível em: <https://earthengine.google.com>. Acesso em: 9 set. 2023.

GRANGER, C. W. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, , p. 424–438, 1969.

HENCHIRI, M.; IGBAWUA, T.; JAVED, T.; BAI, Y.; ZHANG, S.; ESSIFI, B.; UJOH, F.; ZHANG, J. Meteorological drought analysis and return periods over North and West Africa and linkage with El Niño–Southern Oscillation (ENSO). *Remote Sensing*, v. 13, n. 23, p. 4730, 2021.

IIZUMI, T.; LUO, J.-J.; CHALLINOR, A. J.; SAKURAI, G.; YOKOZAWA, M.; SAKUMA, H.; BROWN, M. E.; YAMAGATA, T. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature communications*, v. 5, n. 1, p. 3712, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 9 set. 2023.

LI, Y.; STRAPASSON, A.; ROJAS, O. Assessment of El Niño and La Niña impacts on China: Enhancing the Early Warning System on Food and Agriculture. *Weather and Climate Extremes*, v. 27, p. 100208, mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100208>.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA - MAPA. 2022. MACRORREGIÕES SOJÍCOLAS. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safravigente/acre/>. Acesso em: 9 set. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA - MAPA. 2023. Disponível em: <https://dados.agricultura.gov.br/dataset/sisser3>. Acesso em: 9 set. 2023.

OZAKI, V. A.; DIAS, C. T. D. S. Análise e quantificação do risco para a gestão eficiente do portfólio agrícola das seguradoras. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 47, p. 549-567, 2009.

OZAKI, V, A, Métodos atuariais aplicados à determinação da taxa de prêmio de contratos de seguro agrícola: um estudo de caso, São Paulo: Universidade de São Paulo, Recuperado em, v, 14, 2005.

PENALBA, O. C.; RIVERA, J. A. Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America—emphasis in regional drought occurrences. *Advances in Geosciences*, v. 42, p. 1–14, 2016.

RGEE: GOOGLE EARTH ENGINE FOR R. [s. d.]. GitHub. Disponível em: <https://github.com/r-spatial/rgee>. Acesso em: 9 set. 2023.

SAZIB, N.; MLADENOVA, L. E.; BOLTEN, J. D. Assessing the Impact of ENSO on Agriculture Over Africa Using Earth Observation Data. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 4, p. 509914, 23 out. 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.509914>.

SHUAI, J.; ZHANG, Z.; TAO, F.; SHI, P. How ENSO affects maize yields in China: understanding the impact mechanisms using a process-based crop model: HOW DOES ENSO AFFECT MAIZE YIELDS IN CHINA. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 1, p. 424–438, jan. 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4360>.

TACK, J. B.; UBILAVA, D. The effect of El Niño Southern Oscillation on US corn production and downside risk. *Climatic change*, v. 121, p. 689–700, 2013.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). Climate Change Is Key Driver Of Disasters. Disponível em: < <https://www.undrr.org/news/climate-change-key-driver-disasters> >. Acesso em: 04 de setembro de 2023.

WREGE, M.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. Atlas climático da região Sul do Brasil: estados do Paraná. Santa Catarina e Rio Grande do Sul, v. 2, 2012. .