



RELAÇÃO ENTRE O EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS) E ANOMALIAS DE PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO, MILHO E SOJA EM MUNICÍPIOS DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL

Nathália Faria de **Sousa**¹; Marcos Corrêa **Neves**²; Fernando Antônio Macena da **Silva**³; Alfredo José Barreto **Luiz**⁴

Nº 25406

RESUMO – *A definição adequada da época de semeadura é uma estratégia eficiente para reduzir riscos climáticos, uma vez que sua execução está ao alcance dos produtores. No intuito de flexibilizar a recomendação, atualmente fixa, para a melhor época, considerando os indicadores antecedentes provenientes de fenômenos climáticos de larga escala, este trabalho analisou a influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a produtividade de feijão, milho e soja entre os anos de 1992 a 2021, em Goiás e Distrito Federal. As séries históricas de precipitação diária, obtidas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), de 159 estações meteorológicas, tiveram suas falhas preenchidas. Anomalias de produtividade das culturas foram estimadas após o ajuste de regressões lineares aos dados fornecidos pela pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para 35 municípios, no caso do feijão; 62 para o milho e 34 para a soja. Todas as regressões ajustadas indicaram aumento constante da produtividade. Dados do Índice Oceânico Niño (ION) foram utilizados para classificar os períodos de safras de verão, de outubro a março, como sucessores da ocorrência de anos El Niño, La Niña ou Neutros. Os resultados mostraram que em anos de El Niño houve maior frequência de anomalias negativas do que o esperado, enquanto nos anos de La Niña houve mais anomalias positivas. Isso revela a influência do fenômeno ENOS sobre a produtividade agrícola local e aponta a possibilidade de, no futuro, considerar essa informação nas recomendações do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC).*

Palavras-chaves: eventos extremos, mudanças climáticas, riscos climáticos, espacialização, métricas agrometeorológicas.

1 Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Florestal, UFSCar, Sorocaba-SP; nathalia01faria@gmail.com

2 Colaborador, Pesquisador na Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; marcos.neves@embrapa.br

3 Colaborador, Pesquisador na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF; fernando.macena@embrapa.br

4 Orientador: Pesquisador na Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; alfredo.luiz@embrapa.br



ABSTRACT – *Properly defining the sowing season is an efficient strategy to reduce climate risks, since its implementation is within the reach of producers. In order to make the currently fixed recommendation for the best time more flexible, considering the leading indicators from large-scale climate phenomena, this study analyzed the influence of the El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon on the yield of beans, corn, and soybeans between 1992 and 2021, in Goiás and the Distrito Federal. The historical series of daily precipitation, obtained from Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), from 159 meteorological stations, had their gaps filled. Crop yield anomalies were estimated after adjusting linear regressions to data provided by the Municipal Agricultural Production (PAM) survey of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), for 35 municipalities, in the case of beans; 62 for corn and 34 for soybeans. All adjusted regressions indicated a steady increase in productivity. Data from the Oceanic Niño Index (ONI) were used to classify summer cropping periods, from October to March, as successors to El Niño, La Niña or Neutral years. The results showed that in El Niño years there was a higher frequency of negative anomalies than expected, while in La Niña years there were more positive anomalies. This reveals the influence of the ENSO phenomenon on local agricultural productivity and points to the possibility of considering this information in the recommendations of the Agricultural Zoning of Climatic Risk (ZARC) in the future.*

Keywords: extreme events, climate change, climate risks, spatial distribution, agrometeorological metrics.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão levando a um aumento na frequência e na intensidade dos eventos extremos, o que afeta a agricultura de diversas formas (IPCC, 2019; Lesk et al., 2016). As constantes ameaças do clima implicam na necessidade de mudanças nos padrões de cultivo e podem causar efeitos negativos na produtividade das culturas (Challinor et al., 2014). É fundamental que todos os agentes das cadeias produtivas agrícolas se preparem para lidar com os desafios impostos pelas mudanças climáticas e busquem soluções para mitigar seus impactos na agricultura (Lobell; Gourdji, 2012).

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é amplamente reconhecido como uma das mais bem-sucedidas tecnologias desenvolvidas pela Embrapa, com forte base em pesquisa científica (Minitti, 2020). Ele basicamente preconiza a época mais adequada, ou com menos riscos climáticos, para o plantio de diversas culturas agrícolas em cada um dos municípios brasileiros. A definição da melhor época para a semeadura ou plantio é uma estratégia eficiente para reduzir riscos

climáticos na agricultura, podendo significar a diferença entre sucesso e fracasso de uma lavoura, o que explica o êxito dessa política. A recomendação do ZARC é fixa para determinada combinação de cultura, solo e município, ou seja, para um mesmo arranjo, a melhor época é a mesma todos os anos. Entretanto, existem indícios de que fenômenos climáticos de larga escala, entre eles o El Niño Oscilação Sul (ENOS), promovem alterações no regime de chuvas, de um ano para outro, em diversas regiões do mundo, (Fontana, 2024; Nobre; Shukla, 1996).

O projeto Avaliação de Risco e Resiliência Agroclimática (ARRA) busca de várias maneiras desenvolver novos conhecimentos, sólidos o bastante para que venham a compor no futuro as recomendações do ZARC, sendo incluídos nas políticas públicas, de forma a diminuir os riscos climáticos a que são submetidos os produtores. O objetivo desse trabalho foi dar continuidade aos estudos de Vernier et al. (2024), analisando a relação entre os eventos do ENOS e as anomalias de produtividade de feijão, milho e soja em municípios de Goiás e Distrito Federal, no período de 1992 a 2021, com vistas a reduzir os riscos produtivos. Foram estudadas as relações entre os dados de produtividade, precipitação e fenômenos ENOS na busca de indicações que permitam prever, com antecipação útil aos produtores, diferenças anuais nos regimes de chuva de forma a melhorar o manejo da data de semeadura e diminuir os riscos das culturas estudadas, conforme sugestões de Luiz e Silva (2024).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção dos Municípios e Dados Utilizados

Foram selecionados municípios do estado de Goiás e do Distrito Federal que apresentavam, no mínimo, 20 anos de dados disponíveis, entre 1992 e 2021, tanto de precipitação pluviométrica quanto de produtividade das culturas de milho, soja e feijão. Esses dados foram obtidos a partir de estações meteorológicas localizadas em municípios goianos e no DF. Para facilitar o relato, o DF será tratado no texto como ‘município’ para fins de totalização e análise. Alguns municípios possuem mais de uma estação dentro de seus limites e todas elas foram utilizadas, o que totalizou 159 estações. Os dados de produtividade vieram de 35 municípios para feijão, 62 para milho e 34 para soja, sendo que, em alguns municípios ocorreram registros de mais de uma cultura.

2.2 Análise dos Dados de Precipitação

Os registros de precipitação das estações meteorológicas foram extraídos por meio do banco de dados da Agência Nacional de Águas e Abastecimento (2024). Esses dados apresentavam informações diárias de chuva, município e UF onde a estação está localizada, e as coordenadas geográficas correspondentes.

Infelizmente, há problemas recorrentes com os dados meteorológicos no Brasil, entre eles, a falta de registros em determinados períodos (Perazzi et al., 2021), o que dificulta o uso destas séries históricas. Para este estudo, os dados diários de precipitação pluviométrica faltantes foram preenchidos com a média simples, para o mesmo dia do calendário, entre todos os anos com dados, em cada estação meteorológica. Ao final, portanto, foram produzidas 159 séries de dados de chuva diária, de trinta anos completos, de janeiro de 1992 a dezembro de 2021.

Com os dados de precipitação diários de todos os anos de estudo, foi feita a soma dos valores diários de outubro a março, intervalo que foi considerado o principal período para o cultivo das três culturas estudadas. Esse período foi escolhido por meio da recomendação do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), após a consulta ao painel de indicação de riscos (disponível em <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/Zarc/Zarc.html>). Essa ferramenta fornece os níveis de risco de perda da colheita para cada município, indicando os decêndios (períodos de 10 dias) do ano com menor risco, ou seja, os mais adequados para o plantio. Como o período chamado de safra engloba dados de dois anos consecutivos, da série de 30 anos, foram extraídos totais municipais de chuva em 29 safras, de outubro de 1992 a março de 2021.

2.3 Classificação dos Anos ENOS com Base no ONI

Para identificar anos em que ocorreram fenômenos que pudessem afetar a precipitação e, por consequência, a produtividade, foram utilizados os dados do Índice Oceânico Niño (ION), disponibilizados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), dos Estados Unidos. Esse índice é baseado na diferença entre a temperatura média da superfície de uma região específica no Oceano Pacífico (Niño 3.4) e a sua média histórica. O valor mensal do ION, é uma média móvel dessa diferença, considerando os dois meses vizinhos. Se o ION for maior que $+0,5^{\circ}\text{C}$, indica a ocorrência de uma fase quente do fenômeno, chamada de El Niño. De forma oposta, se o ION for menor que $-0,5^{\circ}\text{C}$, indica uma fase fria, chamada de La Niña. Valores intermediários para o ION, $[-0,5^{\circ}\text{C}, 0,5^{\circ}\text{C}]$, indicam uma fase neutra do fenômeno (NOAA, 2025). Na busca de dados indicativos com uma antecedência útil em relação ao período de semeadura, foram utilizados na análise os índices mensais de maio a setembro, de cada ano.

Os anos foram, então, classificados em: El Niño (E), se houvesse entre os meses de maio a setembro a maioria com ION maior que $+0,5^{\circ}\text{C}$; em La Niña (L), se houvesse a maioria dos meses com ION menor que $-0,5^{\circ}\text{C}$; e Neutros (N) em caso de equilíbrio de ocorrências.

Definidas as classes de El Niño, elas foram associadas às precipitações nas safras subsequentes, em todas as 159 estações meteorológicas. Foram calculadas as médias de chuva na safra entre os anos de cada classe, ou seja, cada estação produziu três valores de precipitação média na safra: um para safras subsequentes aos anos de El Niño (E), um aos anos Neutros (N) e

um aos de La Niña (L). Em cada estação os valores foram ordenados da maior para a menor média de precipitação na safra. Depois, contou-se quantas vezes, entre as 159 estações, as médias de maior valor eram as provenientes de safras posteriores ao E, N ou L. O mesmo foi feito para as médias de valor médio e de valor menor. Finalmente, essas frequências de ocorrência em cada classe de El Niño foram submetidas ao teste qui-quadrado (χ^2) no software SAS para avaliar se existia relação entre os fenômenos e a precipitação em municípios de Goiás e no Distrito Federal.

2.4 Busca e Análise dos Dados de Produtividade

Os dados de produtividade de milho, soja e feijão foram obtidos por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), na seção de Produção Agrícola Municipal (PAM) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024). Foram extraídos os dados para todos os municípios de GO e do DF de 1992 a 2021. Para cada município e cultura foi contado o número de anos com dados. Foram selecionados apenas municípios com mais de 20 anos de dados dentro do período de estudo.

Infelizmente, os dados de produtividade não podem ser tratados da mesma forma que os de chuva, isso porque a produtividade ao longo de um período de 30 anos sofreu obrigatoriamente os efeitos dos avanços tecnológicos ocorridos na agricultura, que tendem a promover aumentos graduais nos níveis produtivos ao longo do tempo (Vieira Filho et al., 2020). Diante disso, com o propósito de detectar anos atípicos na produtividade das culturas observadas, foi empregada a técnica de regressão linear simples. Esse procedimento permite modelar a tendência de crescimento esperada, por município e cultura, de forma a identificar desvios realmente anômalos em relação ao padrão esperado. Foi estabelecido que seriam consideradas anomalias de produtividade positivas (negativas) as produtividades anuais em um município que fossem maiores (menores) que a estimativa para aquele ano feita pela regressão ajustada mais (menos) uma unidade do erro padrão da média (STDP).

Para calcular as anomalias, foi utilizado o programa SAS (SAS, 2020), para o ajuste de uma equação de regressão, na qual a produtividade de um município é expressa apenas como função do tempo e do erro aleatório. Eventualmente esse tipo de ajuste é usado para estimar o que se chama de Progresso Genético, que basicamente é o efeito que novas cultivares melhoradas têm sobre o aumento da produtividade das culturas (Zeffa et al., 2020).

O progresso genético, ou tendência da produtividade, foi calculado usando o modelo de regressão representado pela Equação 1.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, 30 \quad (1)$$

Onde: β_0 é o intercepto ou coeficiente linear, β_1 é a inclinação ou coeficiente angular para ajustar os dados da variável y_i como uma função de X_i (variável discreta que representa o passar do tempo em anos: $X_1 = 1, \dots, X_{30} = 30$), e ε_i são erros normalmente distribuídos com média zero e variância s^2 , ou seja, $\varepsilon_i \sim N(0, s^2)$. No presente caso, o intercepto é o valor médio da produtividade estimada para o primeiro ano do estudo (1992) em cada município, e o coeficiente angular representa o aumento (ou diminuição, se for negativo) da produtividade a cada ano, em cada município.

A rotina utilizada produz valores das estimativas de produtividade a cada passo de tempo, os resíduos dessas estimativas em relação aos valores observados, o erro padrão da média (STDP) e as anomalias. Ao final, para cada município, a produtividade de cada ano, com dado oriundo do IBGE, é classificada em: "positiva" para valores de anomalia superiores ao STDP, "negativa" para valores inferiores, e "neutra" para valores dentro dos limites definidos pelo erro padrão.

2.5 Realização de um Mapa de Precipitação e Produtividade no Período de ENOS

Os dados de precipitação das 159 estações (média da precipitação acumulada de outubro a março, considerando as três classes de safra – E, N e L) foram interpolados para a área conjunta do estado de Goiás e do Distrito Federal, resultando em três mapas com valores contínuos no espaço (formato matricial ou raster), um para cada classe. A interpolação foi realizada pelo método da Krigagem, utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2024) e os pacotes **gstat** e **automap** para escolha do modelo, ajuste e avaliação dos resultados. Os arquivos resultantes da interpolação foram exportados no formato "tif" para o programa QGIS (QGIS Development Team, 2024), com o objetivo de integrá-los aos demais dados espaciais.

Em seguida, utilizando os arquivos raster interpolados para a precipitação em períodos de El Niño, Neutro e La Niña, adicionou-se também ao QGIS uma tabela com a soma do número de vezes em que houve anomalias de produtividade negativas e positivas no mesmo período dos fenômenos, para cada município estudado com feijão, milho e soja. Assim, é possível criar mapas com a distribuição contínua de faixas de precipitação sobre toda a área e também podem ser sobrepostos histogramas para representar a quantidade de anomalias observadas nas culturas presentes em cada município.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no Índice Oceânico Niño (ION) os anos foram agrupados em três classes, sendo que oito anos foram caracterizados como El Niño, oito também como La Niña e os outros 14 como Neutros. Na Tabela 1 está apresentada a classificação detalhada de cada um dos anos, de 1991 a 2020, nas categorias do ENOS.

A análise das anomalias de produtividade foi realizada em 35 municípios para feijão, 62 para milho e 34 para soja no estado de Goiás e Distrito Federal. Para cada cultura, em cada município e ano, foi atribuída a classificação de anomalias negativas, neutras e positivas com base no erro padrão da média (STDP).

Tabela 1. Classificação de 30 anos com base no Índice Oceânico Niño (ONI)

Classe	Anos
La Niña	1998, 1999, 2000, 2007, 2008, 2010, 2011, 2020
Neutro	1994, 1995, 1996, 2001, 2003, 2005, 2006, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019
El Niño	1991, 1992, 1993, 1997, 2002, 2004, 2009, 2015

A Figura 1 apresenta as anomalias de forma agrupada em todos os municípios estudados, de cada cultura, no período de 1992 a 2021.



Figura 1. Anomalias de produtividade entre 1992 a 2021 em municípios de Goiás de DF.

Com base nesses dados, foi possível verificar a maior ocorrência de anomalias positivas nos anos de 2014 e 2013 para milho, 2009 e 2010 para feijão, e 2002 e 2003 para soja. Já as anomalias negativas tiveram destaque nos anos de 2016 e 2021 para milho, 1999 e 2018 para feijão, e 2014 e 2015 para soja.

Para observar a relação entre as anomalias de produtividade e os anos de ocorrência dos fenômenos ENOS, foi calculada, para cada município a média das anomalias, considerando as três classes de anos separadamente, resultando assim, em 3 anomalias médias para cada município. Então, foi selecionada a maior média de cada município e feita uma contagem por classe proveniente. Depois, foram selecionadas também as médias intermediárias de cada município, a nova contagem por classe de origem, e por fim, a menor anomalia média de cada município e a respectiva contagem por classe de origem. Os resultados deste procedimento podem ser verificados na Tabela 2.

Tabela 2. Contagem de médias por classe para o cultivo de Feijão.

Classe de Anos	Valor da Anomalia			Total	N	Média
	Maior	Médio	Menor			
La Niña	17	8	10	35	8	53,81
Neutro	5	13	17	35	14	19,61
El Niño	13	14	8	35	8	-40,59
Total	35	35	35	105	30	0,00

Com a utilização do teste qui-quadrado, foi possível afirmar que as frequências observadas foram diferentes das que seriam esperadas na ausência de influência dos eventos ENOS sobre a produtividade ($N = 105$, $\chi^2 = 12$, $\text{Prob} > \chi^2 = 0,0174$).

A Tabela 3 mostra a diferença entre as frequências observadas e esperadas para o cultivo de feijão.

Tabela 3. Diferença entre frequência observada e frequência esperada para feijão.

Classe de Anos	Maior	Médio	Menor
La Niña	5,3	-3,7	-1,7
Neutro	-6,7	1,3	5,3
El Niño	1,3	2,3	-3,7

Os resultados apontam que, nos anos de ocorrência de La Niña e, em menor frequência, de El Niño, as médias das anomalias se apresentaram maiores do que o esperado, enquanto, em anos neutros, as médias foram mais baixas em um maior número de vezes do que o esperado.

O mesmo procedimento foi realizado para as culturas de milho (62 municípios) e soja (34 municípios), ambos apresentando significância estatística nos testes do qui-quadrado.

Para o milho, foi possível observar que os anos Neutros apresentaram maior média de anomalias positivas em mais municípios do que o esperado, já os anos de El Niño foram os que apresentaram maior número de anomalias negativas ao que era esperado.

A Tabela 4 apresenta a diferença entre as frequências observadas e esperadas na ausência de efeitos para milho.

Tabela 4. Diferença entre frequência observada e frequência esperada para milho

Classe de Anos	Maior	Médio	Menor
La Niña	3,3	2,3	-5,7
Neutro	10,3	-0,7	-9,7
El Niño	-13,7	-1,7	15,3

Para soja, os resultados sugeriram que, em anos de La Niña, as médias das anomalias foram maiores que o esperado; enquanto que nos anos Neutros, as menores médias ocorreram com frequência acima do esperado. Esse resultado se apresentou coerente com os valores médios das anomalias, que também foram positivos para La Niña e negativos para os anos Neutros para soja. A Tabela 5 mostra a diferença entre as frequências observadas e esperadas na ausência de efeitos para soja.

Tabela 5. Diferença entre frequência observada e frequência esperada para soja

Classe de Anos	Maior	Médio	Menor
La Niña	10,7	-3,3	-7,3
Neutro	-9,3	-3,3	12,7
El Niño	-1,3	6,7	-5,3

Com o intuito de visualizar espacialmente os resultados, foram elaborados mapas que apresentam a média da precipitação por município no Estado de Goiás e Distrito Federal, em conjunto com a soma das anomalias nos anos classificados como El Niño, La Niña e Neutro. A Figura 2 representa a distribuição de anomalias negativas, por cultura, enquanto a Figura 3 representa as anomalias positivas.

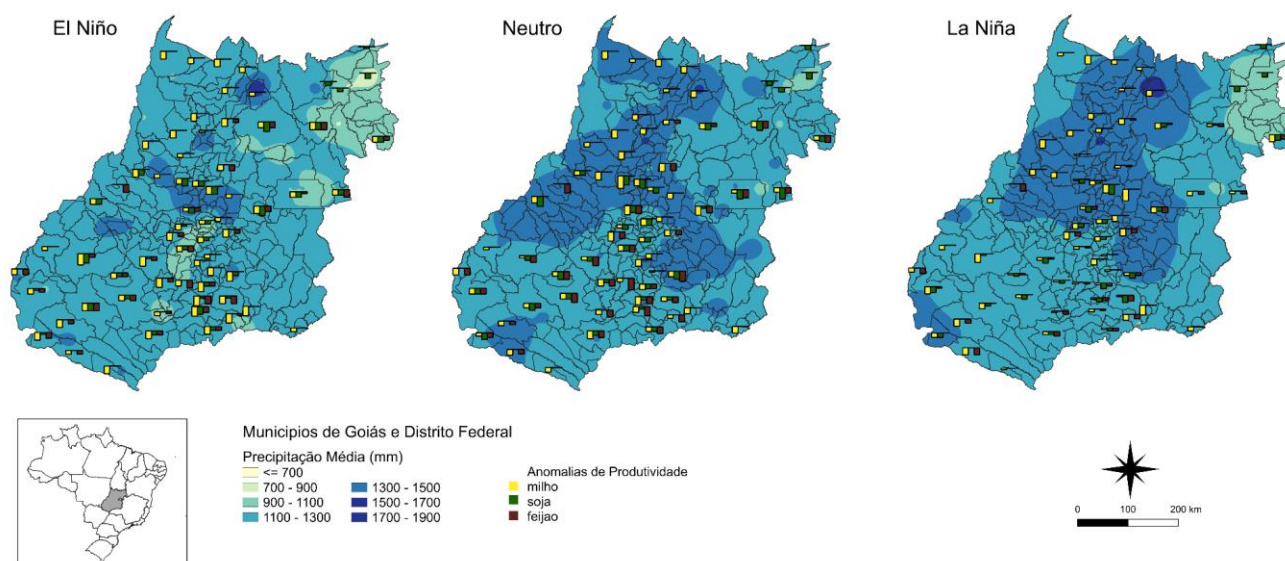


Figura 2. Mapa com anomalias de produtividade negativas de feijão, milho e soja, em municípios de Goiás e DF, sobre médias de precipitação, em safras subsequentes aos anos El Niño, Neutro e La Niña.

Com a espacialização, foi possível notar o maior índice de chuva durante o período de La Niña do que no período de El Niño, principalmente na região central e norte do estado. Além disso, nota-se maior número de anomalias negativas no período de El Niño e Neutro, principalmente na cultura de soja.

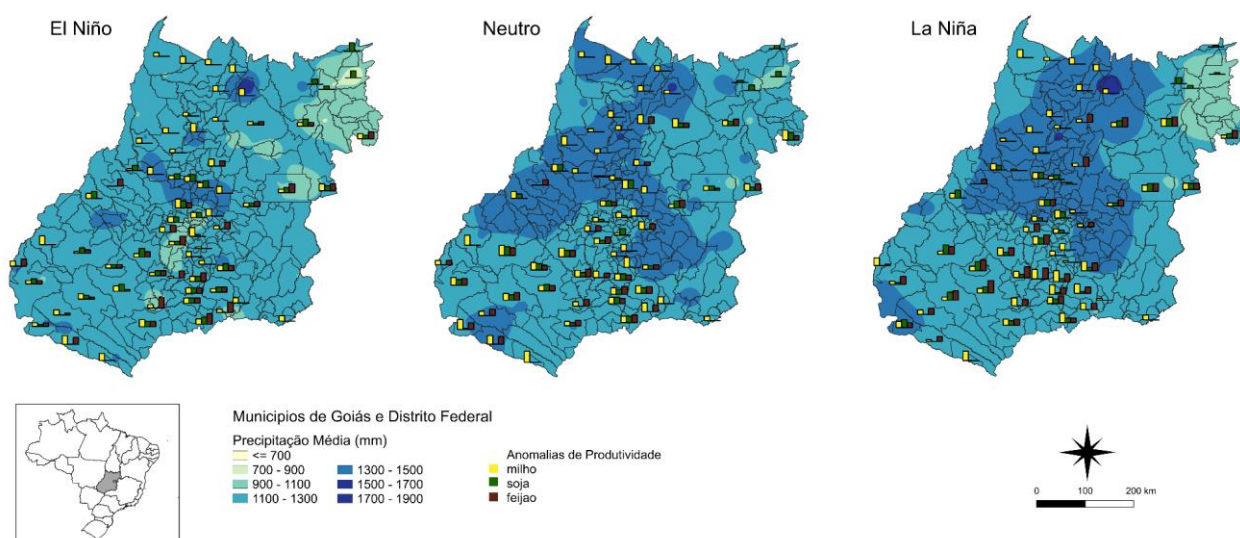


Figura 3. Mapa com anomalias de produtividade positivas de feijão, milho e soja, em municípios de Goiás e DF, sobre médias de precipitação, em safras subsequentes aos anos El Niño, Neutro e La Niña.

Por outro lado, a maior ocorrência observada de anomalias positivas foi durante o período de La Niña, especialmente nas regiões com precipitação entre 1.100 e 1.300 mm. O período neutro



também apresentou valores consideráveis de anomalias positivas, diferente do período de El Niño, que obteve menor número quando comparado às demais classes.

4. CONCLUSÃO

Os anos associados ao fenômeno El Niño apresentaram menor precipitação acumulada média no período de outubro a março quando comparados aos anos de La Niña e Neutros, evidenciando a influência desses eventos climáticos sobre a chuva no estado de Goiás e Distrito Federal.

O modelo estipulado para a identificação de anomalias na produtividade, baseado na regressão linear e no erro padrão da média (STDP), permitiu isolar o efeito dos avanços tecnológicos, especialmente o progresso genético, ao longo do período analisado. As regressões ajustadas para as três culturas e todos os municípios sempre resultaram em tendência de aumento na produtividade (representado por um coeficiente angular positivo).

É possível afirmar que a produtividade das culturas estudadas também foi significativamente influenciada pelos diferentes períodos de ENOS.

Apesar das evidências encontradas, ainda é preciso refinar as análises na busca de melhores métricas para a antecipação de previsões de produtividade baseadas no índice ION. Futuros estudos devem focar no início da estação chuvosa e na duração e frequência de veranicos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela oportunidade de iniciação científica e custeio da bolsa, e à Embrapa Meio Ambiente pelo suporte às ações de pesquisa e pelo apoio na execução da atividade “Métricas agrometeorológicas e sua relação com a produtividade agrícola”, que faz parte do Projeto 10.22.03.032.00.03 “Avaliação de Riscos e Resiliência Agroclimática - Etapa II (ARRA-2)”. Agradecem também aos revisores anônimos pela contribuição na melhoria do texto.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Hidro**: série histórica e estação. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/documents/fb3426be2d4a4f9abfa90fb87b30bd4f/explore>. Acesso em: 4 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Zoneamento agrícola**: painel de indicação de riscos: ZARC. Disponível em: <<https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/Zarc/Zarc.html>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

CHALLINOR, A. J. et al. Meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 287–291, Mar. 2014. DOI: 10.1038/nclimate2153.



FONTANA, D. C. Detecção de alterações na vegetação associadas ao fenômeno ENOS, usando imagens orbitais. In: BERLATO, M. A.; CUNHA, G. R. DA; FONTANA, D. C. (org.) **El Niño oscilação sul: clima, vegetação e agricultura**. Passo Fundo, RS: Ed. dos Autores, 2024. Cap. 2, p. 161-198.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA**: sistema IBGE de recuperação automática. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/Q>. Acesso em: 7 out. 2024.

LESK, C.; ROWHANI, P.; RAMANKUTTY, N. Influence of extreme weather disasters on global crop production. **Nature**, v. 529, n. 7584, p. 84-87, Jan. 2016. DOI: 10.1038/nature16467

LOBELL, D. B.; GOURDJI, S. M. The influence of climate change on global crop productivity. **Plant Physiology**, v. 160, n. 4, p. 1686-1697, Jan. 2012. DOI: 10.1104/pp.112.208298.

LUIZ, A. J. B.; SILVA, F. A. M. da. Efeito do El Niño oscilação sul na produtividade da soja em Planaltina, DF. **Agrometeoros**, v. 32, e027577, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1171805/1/Luiz-Efeito-el-nino-2024.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2025.

MINITTI, A. F. **Relatório de avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020. 57 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 170).

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. National Centers for Environmental Prediction. Climate Prediction Center. **Oceanic Niño Index (ONI)**. [S. l.], NOAA, [s.d.]. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 23 abr. 2025.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. National Weather Service. Climate Prediction Center. **Cold & warm episodes by season**. Maryland: NOAA, [s.d.]. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 23 abr. 2025.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479, 1996. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/9/10/1520-0442_1996_009_2464_vosstw_2_0_co_2.xml>. Acesso em: 22 mai. 2025.

PERAZZI, P. R. et al. O tradicional ou o moderno? uma visão da informação da rede de estações meteorológicas brasileiras. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 351-366, jul-set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863630115>.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <https://qgis.org/>. Acesso em: 29 out. 2024.

R CORE TEAM. **The R project for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 11 mai. 2025.

SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT® 9.4 **User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2020.

SHUKLA, P. R. et al. (ed.). **Climate change and land**: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Genebra: IPCC, 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/>>. Acesso em: 20 maio 2025.

VERNIER, P. et al. Séries históricas de precipitação diária e de produtividade anual de feijão, milho e soja em Goiás e no Distrito Federal. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2024, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Instituto Agrônomo (IAC), 2024. 10 p. CIIC 2024. Nº 24413.



VIEIRA FILHO, J. E. R. et al. (org.). **Uma jornada pelos contrastes do Brasil**: cem anos de Censo Agropecuário. Brasília, DF: Ipea, 2020. p. 121-134. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10339>. Acesso em: 23 jul. 2025.

ZEFFA, D. M. et al. Genetic progress of seed yield and nitrogen use efficiency of Brazilian Carioca common bean cultivars using Bayesian approaches. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, article 1168, Aug. 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.01168