



ASSOCIAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE DA SOJA EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON E O FENÔMENO EL NIÑO/OSCILAÇÃO SUL: ANÁLISES EPISÓDICAS¹

Thiago de Oliveira Medeiros ²
Leila Limberger ³

RESUMO

Esta pesquisa analisou a influência da variabilidade pluviométrica na produtividade da soja em Marechal Cândido Rondon, PR, entre 2009 e 2023. O estudo utilizou uma metodologia quali-quantitativa, focada na análise episódica de anos-safra com desvios significativos de produtividade. Os dados de precipitação diária foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA), e os dados de produção e área cultivada, do Departamento de Economia Rural (DERAL). A pesquisa também correlacionou os resultados com as fases do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), usando o Índice Oceânico Niño (ONI) da NOAA. Os resultados mostraram que a relação entre a produção e a precipitação não é linear. A maior produção da série, em 2019/2020, foi alcançada com um volume de chuva baixo. Por outro lado, a menor produção, em 2021/2022, ocorreu mesmo com um volume de chuva moderada. A análise do fenômeno ENOS (El Niño e La Niña) e sua relação com a precipitação mostrou que, embora o El Niño tenda a aumentar as chuvas, existem exceções importantes. Em alguns anos de La Niña, o volume de chuva foi elevado, sugerindo que outros fatores meteorológicos regionais também influenciam o clima local.

Palavras-chave: Soja, Precipitação, Variabilidade Climática, ENOS.

ABSTRACT

This research analyzed the influence of rainfall variability on soybean productivity in Marechal Cândido Rondon, PR, between 2009 and 2023. The study used a qualitative and quantitative methodology, focusing on an episodic analysis of harvest years with significant productivity deviations. Daily precipitation data was obtained from the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), and production and cultivated area data came from the Department of Rural Economy (DERAL). The research also correlated the results with the phases of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon, using NOAA's Oceanic Niño Index (ONI). The results showed that the relationship between production and precipitation is not linear. The highest production in the series, in 2019/2020, was achieved with a low volume of rain. Conversely, the lowest production, in 2021/2022, occurred even with a moderate volume of rain. The analysis of the ENSO phenomenon (El Niño and La Niña) and its relationship with precipitation showed that, while El Niño tends to increase rainfall, there are important exceptions. In some La Niña years, the volume of rain was high, suggesting that other regional meteorological factors also influence the local climate.

Keywords: Soybean, Precipitation, Climate Variability, ENSO.

¹Este trabalho integra uma pesquisa de Mestrado, ainda em andamento, desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no campus de Marechal Cândido Rondon PR. Pesquisa financiada pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

²Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - PR, mthiago2014@gmail.com;

³Doutora em Geografia, professora da Universidade Estadual do Oeste do Paraná- PR, leila.limberger@unioeste.br;



INTRODUÇÃO

No contexto do agronegócio brasileiro, o país se destaca globalmente como um dos maiores exportadores de grãos, com a soja ocupando uma posição de relevância entre as commodities agrícolas. A safra 2022/2023, por exemplo, segundo dados da Conab (2023), abrangeu uma área de plantio de aproximadamente 44 milhões de hectares, resultando em uma produção de cerca de 154 milhões de toneladas, o que consolida a posição do Brasil como potência na produção de soja, competindo diretamente com outros líderes, como os Estados Unidos (118,84 milhões de toneladas) e a Argentina (33 milhões de toneladas) no mercado internacional. A crescente demanda global por soja, impulsionada pelo aumento populacional e pela utilização do grão na alimentação animal e na produção de biocombustíveis, reforça a importância de compreender os fatores que afetam sua produção no país.

No entanto, a agricultura é dependente das condições climáticas. Eventos extremos, como secas prolongadas (que levam ao estresse hídrico severo e à redução da absorção de nutrientes) e inundações (que podem causar a perda total de áreas plantadas e favorecer o desenvolvimento de doenças nas plantas) são, por sua vez, cada vez mais frequentes e intensos (Ferreira, 2017; Cerón et al., 2021; Marengo et al., 2023). Outros eventos, como ondas de calor (especialmente durante períodos críticos de desenvolvimento), geadas (que danificam as folhas) e tempestades de granizo (que causam perdas diretas nas lavouras), também representam ameaças significativas à produção agrícola.

As ondas de calor, conforme Assad et al. (2015), causam estresse térmico nas plantas, elevando a evapotranspiração e a demanda por água, o que resulta em perdas significativas de produtividade. De forma semelhante, o granizo é um fenômeno altamente prejudicial, provocando danos físicos severos na parte aérea das plantas. Cera et al. (2016) demonstraram, em um estudo de caso sobre a cultura da soja, uma redução do índice de área foliar (IAF) entre 7% e 34%, além da quebra do ápice de crescimento em até 32% das plantas. Outro fenômeno de grande impacto é a geada. De acordo com Abreu e Ribeiro (2014), ela afeta a produção agrícola por causar danos físicos e celulares, pois a "geladura" leva à formação de cristais de gelo que podem desidratar ou até perfurar as membranas celulares. A sensibilidade da planta à geada varia com sua fase de desenvolvimento, sendo os órgãos reprodutivos os mais vulneráveis. A intensidade e a duração da geada também influenciam a severidade dos danos, que podem resultar em perdas de produção e na redução da qualidade do produto.



Considerando esses fenômenos e seus impactos, a presente dissertação se propõe a aprofundar a análise da relação entre a precipitação e a produção agrícola, com foco específico na cultura da soja. Investigar como o regime de chuvas, em particular sua distribuição, influencia diretamente a produtividade, a fim de avaliar os riscos para o setor agrícola diante da variabilidade climática.

Neste sentido, Carmello (2013), ao analisar a relação entre a variabilidade das chuvas e a produtividade da soja na bacia do rio Paranapanema (1999/2000 a 2009/2010), concluiu que existe uma forte relação entre as variações dos totais anuais e os acúmulos decendiais de chuva e a produtividade da soja. O estudo destacou que a falta de chuva em fases críticas do desenvolvimento da cultura foi determinante para a baixa produtividade, enquanto a boa distribuição decendial das chuvas resultou nos melhores registros de produtividade.

Característica inerente ao conceito de clima é a variabilidade climática, caracterizada pela oscilação de um elemento climático em torno de sua média histórica (Limberger, 2015). Dentro os fatores que impulsionam essa variabilidade em escala global, destaca-se o fenômeno natural El Niño/Oscilação Sul (ENOS), um padrão de variação da temperatura da superfície do Oceano Pacífico tropical que induz alterações significativas nos padrões de circulação atmosférica em todo o mundo. No Brasil, os principais efeitos climáticos causados pelos eventos ENOS são, chuvas acima (El Niño) e abaixo (La Niña) da média histórica no Sul, mas também incluem alterações nos regimes de chuva e temperatura em outras regiões, como secas no Norte e Nordeste (El Niño) (Cai et al., 2020).

Conforme Araujo (2012), o fenômeno ENOS impacta significativamente a produção agrícola das regiões Nordeste e Sul do Brasil, especialmente por meio da alteração dos níveis de precipitação e temperatura. Durante episódios de El Niño, o Nordeste tende a sofrer com secas severas, prejudicando a produtividade de culturas como o milho, enquanto o Sul registra aumento de chuvas e temperaturas elevadas, podendo gerar eventos climáticos extremos. Em contrapartida, a La Niña geralmente exacerba as condições opostas, com menos chuvas no Sul e eventos de chuvas anômalas no Nordeste. Desse modo, os impactos desses fenômenos na produtividade agrícola são heterogêneos, diferindo por região e cultura.

Partindo da premissa de que o clima, sobretudo a variável precipitação, possui uma relação direta com as produções agrícolas, podendo gerar desde uma grande produtividade até perdas parciais ou totais em uma safra. O objetivo geral da pesquisa é avaliar a influência da variabilidade pluviométrica na produtividade da soja em Marechal Cândido Rondon - PR no período de 2009 a 2023. Os objetivos específicos são: a) Analisar o comportamento histórico e



as causas dos desvios significativos da produtividade média da soja em Marechal Cândido Rondon no período de 2009 a 2023. c) verificar a influência dos padrões de precipitação diária nas fases fenológicas da soja e seu impacto na produção final da cultura; d) identificar a influência dos diferentes padrões de eventos ENOS na produtividade da soja em Marechal Cândido Rondon.

O trabalho se afasta de uma análise linear tradicional e busca uma compreensão mais aprofundada e qualitativa da produtividade agrícola. Para isso, a investigação se baseia em uma análise episódica, focada em identificar e examinar períodos de produtividade que se desviam significativamente do padrão médio. É importante ressaltar que este estudo não se classifica como um trabalho de climatologia, geografia agrária ou geografia econômica em seu sentido estrito. Trata-se de uma pesquisa de cunho genuinamente geográfico, cujo objetivo é ir além da simples descrição estatística. A meta é entender a dinâmica espacial de um fenômeno, examinando suas causas e efeitos interligados, o que permite uma visão mais completa e contextualizada do impacto do clima na produção agrícola.

METODOLOGIA

Com objetivo geral da pesquisa é avaliar a influência da variabilidade pluviométrica na produtividade da soja em Marechal Cândido Rondon - PR no período de 2009 a 2023, a soja foi selecionada como cultura indicadora dos efeitos do estresse hídrico no ambiente. Em consonância com Silva (2013), embora os estudos de climatologia geográfica tradicionalmente utilizem o ano civil como unidade temporal, pesquisas que correlacionam clima e agricultura demandam uma abordagem temporal mais alinhada aos ciclos biológicos das culturas. Em regiões caracterizadas pela alternância entre estações secas e chuvosas, ou por variações significativas nas temperaturas médias mensais, as culturas apresentam um período vegetativo que não coincide com o ano civil, sendo mais adequadamente definido pelo conceito de ano-safra.

Segundo o Deral (2024), na região Sul do Brasil, a época de plantio da soja geralmente se estende de setembro a dezembro, com a colheita ocorrendo entre fevereiro e abril, totalizando um ciclo médio de 90 a 120 dias. Dentro desse ciclo fenológico, e com o objetivo de entender o impacto da variabilidade pluviométrica na cultura da soja, esta pesquisa examinou dados de produção, produtividade, área cultivada, precipitação e as fases do ENOS no período de 2009 a 2023, respeitando o ano-safra. A escolha desse intervalo temporal se justifica pela abrangência



de diferentes condições climáticas, incluindo a ocorrência de variadas fases do ENOS, o que permite uma análise robusta da influência da variabilidade pluviométrica na cultura da soja.

Os dados de precipitação tiveram sua coleta realizada em escala diária, junto a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) , código da estação: A820, permitindo uma análise detalhada da distribuição das chuvas. As informações de produção, produtividade e área cultivada da soja para o período de estudo foram obtidas na plataforma online do Departamento de Economia Rural (DERAL) . O foco principal do Deral é o levantamento da produção anual. Isso inclui informações detalhadas sobre área plantada, área colhida e produção de diversas culturas agrícolas. Mas também são publicados boletins e análises conjunturais com frequência mensal ou até semanal. Esses boletins trazem informações sobre o andamento das safras, condições climáticas, preços de produtos, expectativas de safra e outros indicadores que refletem a situação atual do setor. Por exemplo, eles podem indicar o percentual da área de soja já colhida ou a condição das lavouras em determinado mês. Além dos dados estaduais, o Deral também disponibiliza dados por município, o que é crucial para análises mais regionalizadas da produção agrícola.

Para investigar a influência das fases do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), foi utilizado o Índice Oceânico Niño (ONI), que se baseia nas anomalias de temperatura da superfície do mar da região Niño 3.4 do Oceano Pacífico Equatorial. Este índice é fornecido pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) . O ONI já classifica as fases do ENOS de forma padronizada, indicando períodos de El Niño, La Niña ou neutralidade, simplificando a identificação desses eventos para a análise.

Com base nesses dados, calculado inicialmente a produtividade média da soja para o período de análise em Marechal Cândido Rondon. Na sequência, o desvio padrão da produtividade. Os anos-safras que apresentaram produção acima ou abaixo de 1 desvio padrão foram então definidos para análise. Ou seja, foram analisados tanto anos que tiveram produtividade maior quanto anos com produtividade menor do que o padrão médio. A partir desse momento, foi realizada uma análise episódica, identificando os dados diários de precipitação para o período da cultura, que é de setembro a fevereiro. Assim, com essa análise diária, é possível entender os períodos em que houve mais ou menos chuva, períodos de estiagem, e como isso pode ter impactado as fases fenológicas da soja.

Conforme Crespo (2009), o desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística, quantificando a variação dos dados em relação à média. Um baixo desvio padrão indica dados agrupados próximos à média, enquanto um alto desvio padrão revela maior

dispersão. Matematicamente, define-se como a raiz quadrada da variância e é expresso na mesma unidade dos dados originais.

A metodologia utilizada nessa pesquisa é quanti-qualitativa, já que em estudos anteriores (Medeiros, 2019) identificou-se que técnicas estatísticas tradicionais, como a correlação linear, podem mascarar os efeitos da variabilidade climática sobre a produtividade da soja, já que entender a presença ou não de chuva em determinadas fases do desenvolvimento da cultura será mais eficaz para compreender essa complexa relação.

Portanto, nesse caso, a pesquisa parte da análise da variabilidade da produtividade da soja, e não da chuva. Assim, primeiramente é caracterizada a variabilidade da produção de soja, calculado o desvio-padrão e realizado o gráfico. Na sequência, é sobreposto a esse dado a variabilidade da precipitação do período de análise, visando identificar se há uma relação entre essas variáveis. Na sequência, é definido se nesses anos houve ocorrência de El Niño ou La Niña. A análise não será quantitativa, mas de comparação.

REFERENCIAL TEÓRICO

Dada sua vasta extensão continental, o Brasil apresenta notável heterogeneidade climática e distintos tipos de solo, fatores que modulam as condições de desenvolvimento de diversas culturas agrícolas. A avaliação da variabilidade climática ao longo do tempo revela que, dependendo da região analisada, os elementos meteorológicos como temperatura e precipitação exibem alterações contínuas ou ciclos bem definidos e com reflexos diretos na produção agrícola (Carmello, 2013; Cunha et al., 1998; Ferreira, 2017; Silva, 2013). Esses estudos, que serão apresentados ao longo desta pesquisa, têm contribuído para caracterizar a relação entre a produtividade agrícola e as condições climáticas regionais, sendo a análise do fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENOS) uma ferramenta essencial para compreender a variabilidade interanual.

Cai et al. (2020) relatam que o ENOS é um sistema climático que envolve interações entre o oceano e a atmosfera, afetando o clima mundial, mas em especial na América do Sul, causando eventos extremos. No contexto desses eventos, Marengo et al. (2021) apontam para um aumento de cinco vezes nos eventos de inundações severas, enquanto Wasko et al. (2021) destacam a intensificação das chuvas extremas e a maior variabilidade das inundações na América do Sul. Embora as alterações no regime de chuvas sejam as mais evidentes, as



temperaturas também são afetadas por esse fenômeno, porém, a ocorrência e a intensidade desses eventos variam de acordo com a fase do ENOS.

O ENOS não deve ser compreendido como um evento isolado, mas sim como um ciclo complexo que se manifesta em três fases distintas. Essas fases são definidas principalmente pela temperatura da superfície da água no Oceano Pacífico Equatorial. A primeira, El Niño (fase quente), ocorre quando há um aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial central e leste, com temperaturas acima da média histórica em pelo menos 0,5°C por um período sustentado (geralmente cinco meses consecutivos). Em contrapartida, a La Niña (fase fria) é a fase oposta, caracterizada pelo resfriamento anômalo das mesmas águas, com temperaturas abaixo da média histórica em pelo menos 0,5°C por um período similar. Por fim, na fase neutra, as temperaturas da superfície do Oceano Pacífico Equatorial permanecem próximas da média histórica, sem aquecimento ou resfriamento anômalo significativo (Cai et al., 2020)

De acordo com Cai et al. (2020), o fenômeno El Niño pode ser classificado em diferentes tipos, com base em suas características e efeitos. O El Niño Leste (ENEP) caracteriza-se pelo aquecimento mais concentrado na região oriental do Pacífico. A denominação "Leste" refere-se justamente a essa região do Pacífico (Niño3), onde a temperatura da superfície do mar (TSM) aumenta de forma anormal.

Goudard (2023) demonstra que esse aquecimento resulta em anomalias pluviais positivas no clima subtropical brasileiro em todas as estações do ano. Durante o inverno (JJA0), notam-se aumentos significativos na precipitação no Paraná e na costa sudeste do Rio Grande do Sul. Na primavera (SON0), especialmente em novembro, as anomalias pluviais positivas são mais expressivas em toda a região sul do Brasil. Já no verão (D0JF+1) e outono (MAM+1), as anomalias pluviais positivas se destacam, com concentrações no Rio Grande do Sul no verão e no Paraná e Santa Catarina no outono. Por outro lado, o El Niño Central (ENCP) refere-se ao aquecimento das águas do Pacífico central (Niño4) e se distingue por um predomínio de anomalias pluviais negativas no clima subtropical brasileiro, especialmente no outono (MAM+1). Isso contrasta com os El Niño Leste, onde o outono apresenta chuvas acima da média.

A análise dos impactos de eventos ENOS na precipitação especificamente do oeste do Paraná revelou padrões distintos entre as cidades analisadas por Pedron e Limberger (2023). A média dos acumulados sazonais (outubro/novembro/dezembro/janeiro) indicou que Palotina, Foz do Iguaçu e Guaíra apresentaram os maiores volumes de precipitação em anos de El Niño,



enquanto Cascavel registrou o maior volume em anos de La Niña, e Toledo, em anos neutros. Essa tendência se manteve no período de janeiro a abril, com Toledo também mostrando maiores volumes em anos de El Niño. De forma geral, para a região, anos neutros foram menos chuvosos que anos de El Niño, mas não menos secos que anos de La Niña.

A análise da correlação entre os acumulados mensais de precipitação e o índice ONI em Cascavel e Palotina, ainda segundo Pedron e Limberger (2023), revelou uma característica importante da influência do ENOS na região oeste do Paraná: uma resposta tardia da precipitação, manifestando-se com uma defasagem de um a quatro meses. Esse achado sugere que as anomalias de temperatura e pressão no Pacífico podem levar um período considerável para impactar os padrões de chuva locais, indicando uma dinâmica temporal complexa.

Este estudo, ao evidenciar essa complexidade na manifestação local de um fenômeno de variabilidade global, ressalta a importância da aplicação de diversas técnicas para identificar sua influência na precipitação em escala local. Os resultados obtidos mostram o desafio inerente à previsão climática para o oeste do Paraná, uma vez que o sinal do ENOS não se apresenta de maneira uniforme entre os municípios. Em face dessa variabilidade espacial e temporal, torna-se imprescindível considerar diversas áreas de anomalias oceânicas para alcançar uma compreensão abrangente da modulação climática nessa região.

Segundo Farias et al., (2013), a fenologia da soja consiste no estudo do desenvolvimento da planta ao longo do tempo, abrangendo o acompanhamento das alterações em suas características físicas e fisiológicas em resposta às condições ambientais e às práticas de manejo adotadas. Monitorar a fenologia da soja implica considerar a "idade fisiológica" da planta, e não sua "idade cronológica" e essa abordagem possibilita uma representação mais precisa do estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra e das necessidades específicas em termos de condições ambientais e práticas de manejo mais adequadas para cada fase da cultura.

O desenvolvimento da cultura da soja divide-se em dois estádios ou fases principais: vegetativo (V) e reprodutivo (R). O estádio vegetativo apresenta subdivisões designadas numericamente como V1, V2, V3 até Vn, com exceção dos dois primeiros estádios, denominados VE (emergência) e VC (estádio de cotilédone). O último estádio vegetativo é designado como Vn, onde “n” representa o número do último nó vegetativo. O estádio reprodutivo compreende oito subdivisões. O nó vegetativo na soja refere-se à parte da haste da planta onde as folhas se desenvolvem, sendo a base para a enumeração dos estádios vegetativos (fases V) (Fehr e Caviness, 1981).



Os estádios R (reprodutivos) subdividem-se em quatro fases principais: R1 e R2 descrevem o florescimento; R3 e R4, o desenvolvimento da vagem; R5 e R6, o desenvolvimento da semente; e R7 e R8, a maturação da planta. O crescimento V (vegetativo) e a produção de novos nós prosseguem durante alguns estádios reprodutivos, de modo que, nestes, os estádios de R1 a R6 descrevem de forma mais precisa o desenvolvimento da planta. A partir dos estádios R3 e R5, ocorre uma transferência gradativa de matéria seca das partes vegetativas da planta para as vagens e os grãos em formação. No estádio R6, a semente contém aproximadamente 80% de sua matéria seca total (Fehr; Caviness, 1981).

A pesquisa de Farias et al. (2013) afirma que a produtividade da soja é o resultado da complexa interação entre genética, clima, solo e práticas agrícolas. A distribuição irregular das chuvas se destaca como um dos principais fatores meteorológicos que restringem a produtividade da cultura. Um exemplo notório dessa vulnerabilidade ocorreu no Rio Grande do Sul, onde a pesquisa demonstrou que o déficit hídrico na safra de 1991-1992 resultou em uma severa redução de 58% na produtividade.

Por meio da análise de regressão linear, Ferreira (2017) verificou uma elevada correlação entre a precipitação na fase reprodutiva e a produtividade da soja no Oeste do Paraná, conforme demonstrado nos balanços hídricos sequenciais e na variação do armazenamento de água nos ciclos das safras de soja em estudo. O autor concluiu que a variabilidade das chuvas no Oeste do Paraná afeta diretamente a produtividade da soja.

Medeiros (2019), ao analisar os dados de produtividade e produção da soja no município de Santa Helena (PR) e relacioná-los com o índice de monitoramento do ENOS (Oceanic Niño Index - ONI), constatou que anos de El Niño ou La Niña nem sempre estão associados a uma superprodução. Adicionalmente, observou safras com alta produtividade em anos nos quais o índice pluviométrico se manteve na média. Registrhou também safras com baixa produtividade em anos com alta concentração de chuvas. O autor concluiu que a abundância de chuva não garante uma boa colheita. Embora o ENOS seja um fenômeno importante para a produtividade da soja em Santa Helena, as técnicas empregadas na elaboração da pesquisa indicaram que ele não é o único fator a ser considerado.

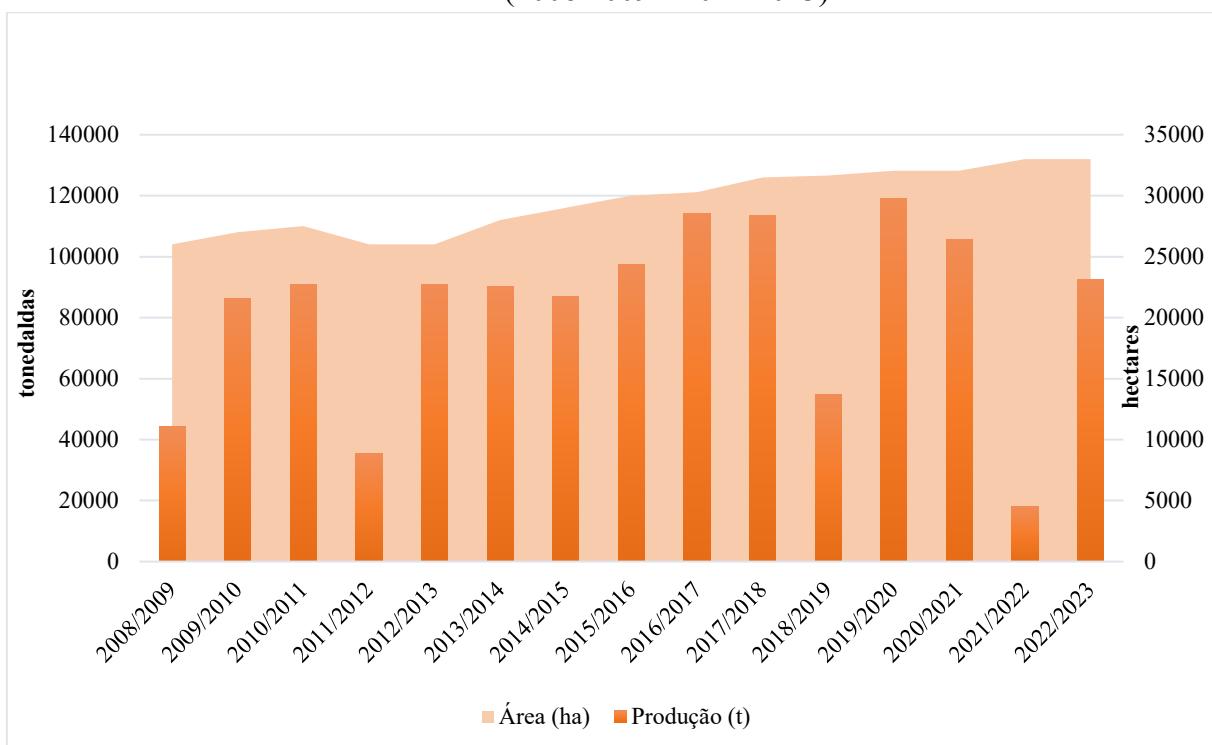
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para discutir a dinâmica da produção de soja no município, a Figura 1 apresenta a série histórica da produção anual (em toneladas) e área do período de 2008/2009 a 2022/2023.



Observa-se uma variação da produção considerável ao longo dos anos, com picos em ciclos de plantio, como em 2016/2017, 2017/2018, 2019/2020 e 2020/2021, que superaram as 100 mil toneladas. Em contrapartida, ciclos como 2008/2009, 2011/2012, 2018/2019 e notadamente, 2021/2022 registraram quedas significativas na produção, demonstrando a variabilidade da produção. Verifica-se que a área plantada teve um incremento no período, saindo de pouco mais de 25.000 ha para cerca de 33.000 ha; o crescimento é linear no tempo, o que não explica a variabilidade da produção.

Figura 1 – Série temporal da área de cultivo (ha) e produção (t) em Marechal Cândido Rondon (2008/2009 a 2022/2023)

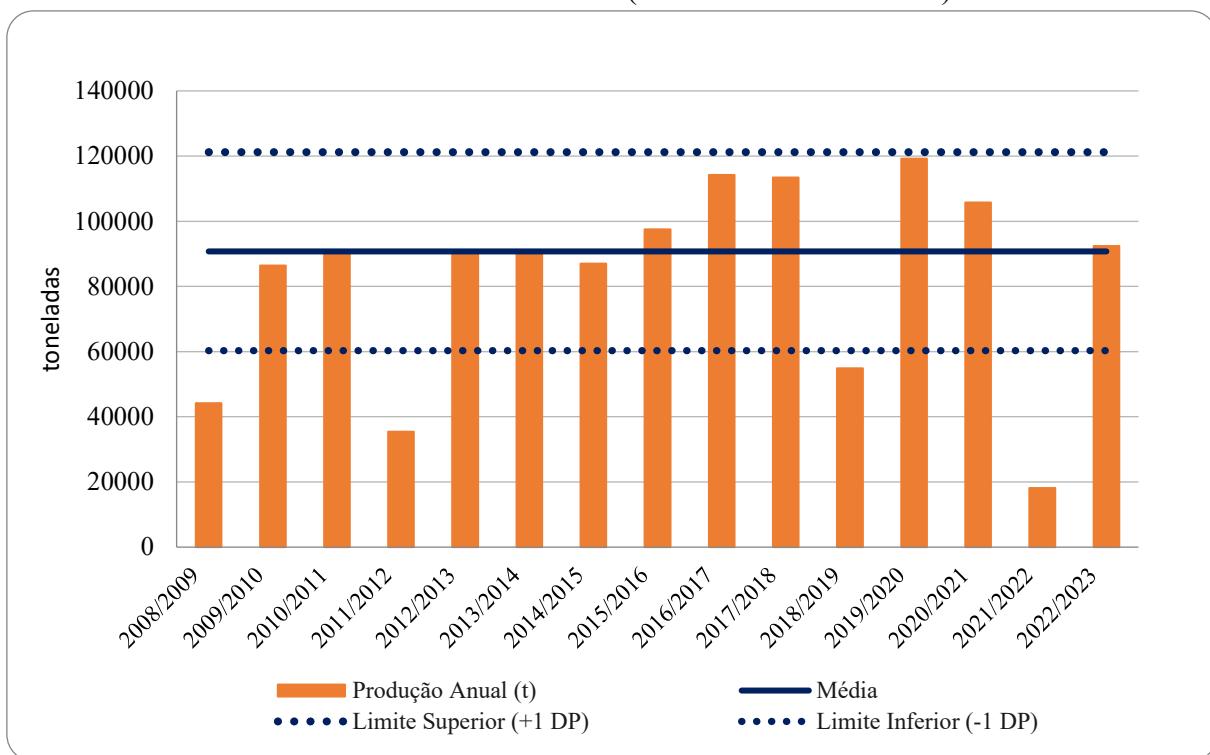


Fonte: Elaborado por Medeiros (2025), a partir de dados do Departamento de Economia Rural (DERAL) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

A Figura 2 oferece uma representação da série histórica da produção anual de soja (em toneladas) ao longo dos ciclos agrícolas de 2008/2009 a 2022/2023. O gráfico permite visualizar não apenas a flutuação da produção ano a ano, mas também sua relação com a média do período e os limites de um desvio padrão, fornecendo um contexto visual para a identificação dos anos de produção atípica. A produção anual de soja, indicada pelas barras, mostra uma notável variabilidade ao longo dos ciclos agrícolas.



Figura 2 – Produção total anual, com linhas indicando produção média, limite superior (um desvio padrão positivo) e limite inferior (um desvio padrão negativo) da produção soja em Marechal Cândido Rondon (2008/2009 a 2022/2023)



Fonte: Elaborado por Medeiros (2025), a partir de dados do Departamento de Economia Rural (DERAL) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Ao observar o gráfico, percebe-se que 53,33% dos anos de produção se manteve dentro desses limites de ± 1 desvio padrão, indicando uma consistência razoável na maior parte do período. Porém, o gráfico destaca anos em que a produção se desviou significativamente do padrão médio.

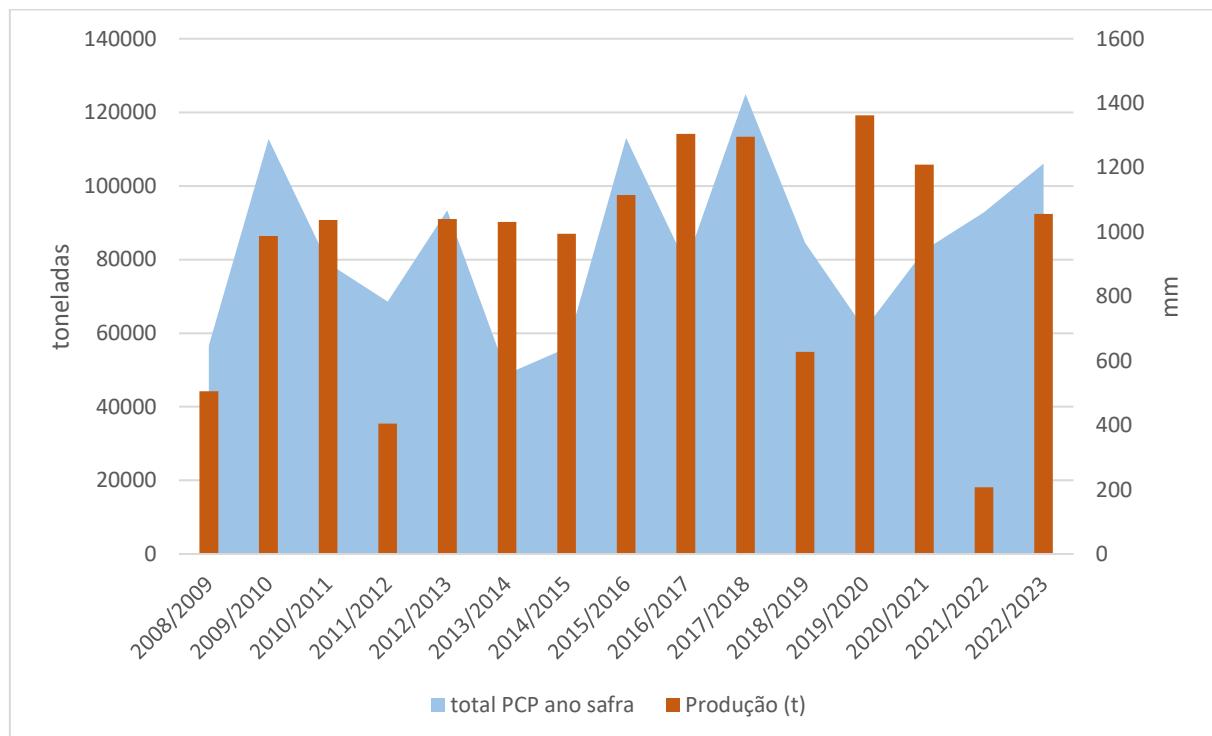
Os ciclos de 2008/2009, 2011/2012, 2018/2019, 2021/2022 registraram produções abaixo do limite inferior (-1 DP). O ano de 2021/2022, em particular, apresenta a menor produção do período, indicando um evento de grande impacto na produtividade.

Por outro lado, embora alguns anos tenham se destacado com produções elevadas, como 2016/2017, 2017/2018 e 2019/2020 (o maior pico), nenhuma produção ultrapassou o limite superior de um desvio padrão (+1 DP). Isso sugere que neste conjunto de dados os eventos de produção excepcionalmente alta, em termos de desvio estatístico, não foram tão extremos quanto os de baixa produção. Esta visualização reforça a necessidade de investigar as causas dessas variações, especialmente nos anos de baixa performance, que podem estar associadas a condições de chuvas adversas.



Portanto, parte-se para a análise do total pluviométrico durante os ano-safra para tentar identificar os motivos da variabilidade da produção. A análise dos totais de precipitação durante o ano-safra, período de setembro a março, em Marechal Cândido Rondon entre 2008/2009 e 2022/2023 (Figura 3) demonstra que houve também grande variabilidade.

Figura 3 – Precipitação total para o período do ano safra (01 de setembro a 31 de março) e Produção (t) em Marechal Cândido Rondon (2009-2023)



Fonte: Elaborado por Medeiros (2025), a partir de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Departamento de Economia Rural (DERAL).

A safra de 2013/2014 ocorreu com a produção de cerca de 89.000 t com apenas 580 mm de chuva, ano-safra com o menor valor de precipitação total. Isso sugere que outros fatores, como a distribuição da chuva ou as práticas agrícolas adotadas, foram determinantes para o bom resultado. Em 2014/2015 a produção continuou resiliente mesmo com um volume de chuva moderado.

Durante as safras de 2015/2016 e 2016/2017, há uma dinâmica interessante na produção. Inicialmente, em 2015/2016, a produção se beneficiou do aumento da precipitação, mostrando uma correlação direta entre um ambiente hídrico favorável e a produtividade. No entanto, a safra seguinte, 2016/2017, desafia essa lógica, já que apesar de uma redução na chuva, a produção continua a subir.



O ano de 2018/2019 é um ponto de análise crucial, pois a produção caiu drasticamente apesar do alto volume de chuva. Isso sugere que a chuva pode ter vindo de forma mal distribuída, com períodos de estiagem no momento errado ou excesso em outros, ou que fatores como pragas e doenças, potencializadas pelo clima, impactaram negativamente.

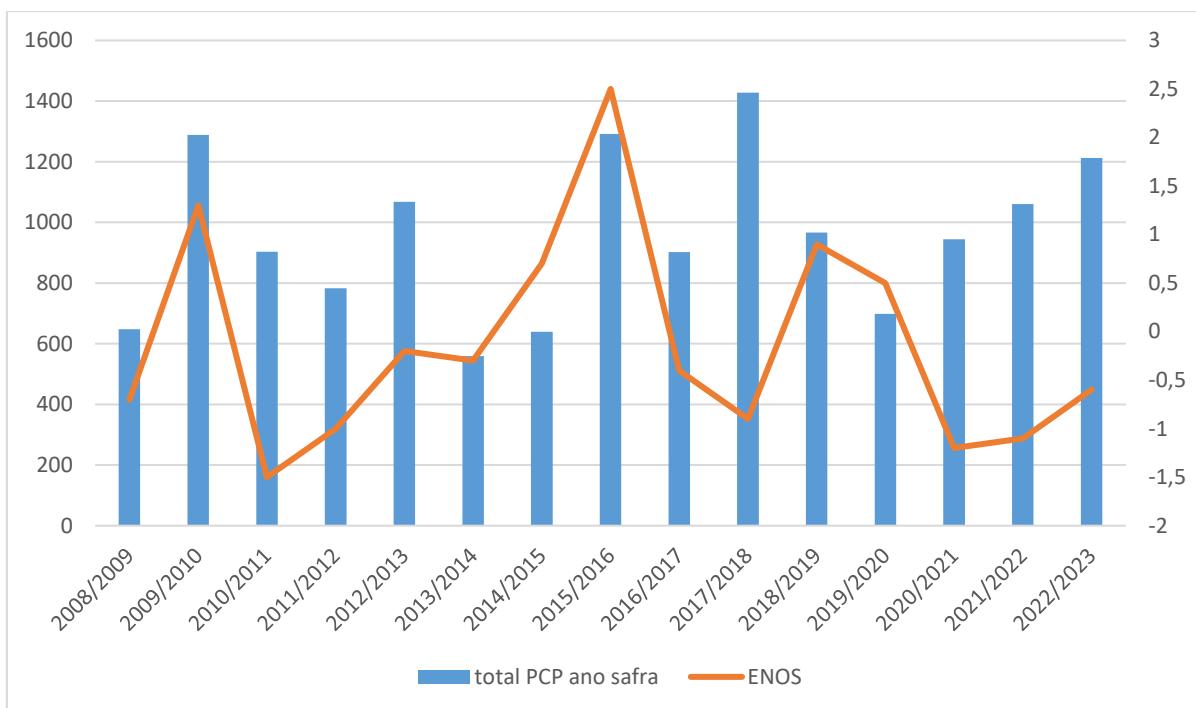
A maior produção da série, em 2019/2020, foi alcançada com um volume de chuva baixo. Por outro lado, a menor produção, em 2021/2022, ocorreu mesmo com um volume de chuva superior a anos de maior produtividade, como 2013/2014, reforçando a hipótese que a distribuição temporal da chuva em fases críticas do ciclo da cultura é mais relevante do que o volume total. Essas variações ressaltam a importância de uma análise mais detalhada.

A análise revela que a relação entre a produção e a precipitação não é linear, mas sim que há uma interdependência complexa. Embora anos com alta pluviosidade, como 2009/2010 e 2017/2018, tendam a coincidir com períodos de alta produção, as exceções demonstram que outros fatores são determinantes.

O período de 2015/2016 se destaca na série histórica de precipitação de Marechal Cândido Rondon, Paraná, com um dos maiores volumes de chuva já registrados. Essa anomalia pluviométrica está diretamente associada ao El Niño de 2015, um dos eventos mais intensos já documentados. Segundo dados da NASA, este El Niño superou o recorde do evento de 1997-1998 em termos de anomalia de temperatura da superfície do mar, alcançando um pico de 2,6 °C. A análise se aprofundará na relação entre a intensidade do El Niño e o volume de chuvas, buscando entender se a maior quantidade de água se traduziu em maior produtividade.

A Figura 4 revela que há uma relação perceptível, mas não absoluta, entre o ENOS e o volume de chuva em Marechal Cândido Rondon. Os picos de precipitação se alinham com a ocorrência do El Niño. O exemplo mais claro é a safra de 2015/2016, que registrou o maior pico de ENOS (El Niño forte) e um dos maiores índices de precipitação de toda a série. Isso confirma que eventos de El Niño tendem a aumentar significativamente o volume de chuvas na região durante o ciclo da soja. Outros anos com El Niño, como 2009/2010, também mostram altos volumes de chuva. Em 2010/2011 e 2011/2012, os valores do ENOS foram negativos, indicando a presença de La Niña. O volume de chuvas, foi moderado e menor do que em anos de El Niño. Essa tendência se alinha à expectativa de que a La Niña, em geral, reduz a precipitação na região, embora não tenha levado a uma seca extrema nesses casos.

Figura 4 – Precipitação total para o período do ano safra (01 de setembro a 31 de março) e ENOS em Marechal Cândido Rondon (2009-2023)



Fonte: Elaborado por Medeiros (2025), a partir de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Índice Oceânico de El Niño (ONI).

No entanto, a análise apresenta importantes exceções, por exemplo, o ano de 2017/2018. Neste ano, foi registrada a maior precipitação de toda a série, o que ocorreu durante uma forte fase de La Niña. Outros exemplos são os anos de 2020/2021 e 2021/2022, que também tiveram um volume de chuva considerável durante um período de La Niña forte. Tal fato indica a atuação de outros moduladores da variabilidade climática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da produção de soja em Marechal Cândido Rondon de 2008 a 2023 demonstra uma dinâmica complexa, onde a produtividade agrícola é influenciada por uma série de fatores, com destaque para a precipitação. Embora a área plantada tenha crescido de forma consistente, esse aumento por si só não explica a alta variabilidade da produção. A análise mostrou que os anos de baixa produtividade são mais extremos e frequentes do que os de alta produtividade.

A relação entre a precipitação e a produção se mostrou perceptível, mas não linear. Anos com alta precipitação, especialmente durante eventos de El Niño, frequentemente coincidiram com boa produção. A maior produção da série, em 2019/2020, foi alcançada com um volume de chuva baixo.



Por outro lado, a menor produção, em 2021/2022, ocorreu durante um ano com precipitação superior a outros anos de alta produtividade. Isso reforça a conclusão de que a distribuição temporal da chuva é mais crucial do que o volume total. Fatores como a ocorrência de chuvas em fases críticas do ciclo da soja, ou a falta delas, explicam a resiliência da produção em alguns anos e as perdas em outros.

A relação entre o ENOS e a precipitação total também não é absoluta. Embora o El Niño tenda a aumentar as chuvas na região, eventos de La Niña, que normalmente reduzem a precipitação, foram associados a volumes consideráveis de chuva em 2017/2018 e 2021/2022 durante os meses que compõem o ano-safra.

A produtividade da soja em Marechal Cândido Rondon foi aqui estudada como uma interação complexa entre a área plantada, o volume da chuva e os efeitos de fenômenos climáticos globais como o ENOS. No entanto, percebe-se que não há uma relação direta entre esses elementos, sendo necessário considerar, principalmente, as técnicas agrícolas adotadas e a distribuição das chuvas durante as fases de desenvolvimento da planta. Isso é proposto como estudos futuros para auxiliar os produtores de soja da região a superar a vulnerabilidade da produção a eventos de seca ou a distribuição de chuvas irregulares.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. P. - Eventos Climáticos Extremos: Os Efeitos Dos Fenômenos El Niño E La Niña Sobre A Produtividade Agrícola Das Regiões Nordeste E Sul Do Brasil. Universidade Federal de Viçosa, 2012.

ASSAD, Eduardo Delgado; ASSAD, Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes. Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 38, n. 112, p. 271-292, 2024. DOI: 10.1590/s0103-4014.202438112.015.

CAI, W. et al. **Impactos climáticos do El Niño – Oscilação Sul na América do Sul**, 2020.

CARMELLO, V. **Análise da variabilidade das chuvas e sua relação com a produtividade da soja na vertente paranaense da bacia do rio Paranapanema**. Dissertação de Mestrado – Curso de Geografia, UNESP, SP, 2013.

CERA, Jossana Ceolin et al. Dano por Granizo na Cultura da Soja em Condições de Lavoura: Um Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 211-217, 2016. DOI:

CERÓN, Wilmar L. et al. **Recent intensification of extreme precipitation events in the La Plata Basin in Southern South America (1981-2018)**. Atmospheric Research, v. 249, n. 105299, 2 out. 2020.

CONAB. Séries Históricas das Safras. Companhia Nacional de Abastecimento, 2023. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras> >. Acesso em: 19 setembro 2023.

CUNHA, G. R. et al. El Niño/La Niña – Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações.

CRESPO, A. A. Estatística Fácil. 19. ed. São Paulo: Ed. Saraiva, 2009.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural (Deral). Relatório de plantio. Curitiba, 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Departamento-de-Economia-Rural-Deral>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PEDRON, I. T; LIMBERGER, L. Sinal do fenômeno ENOS na precipitação pluvial da região Oeste do Paraná. RA'EGA: O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, PR, v. 57, p. 98-120, set. 2023.

FARIAS, J.R.B. NEPOMUCENO, A.E. NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

FEHR, W.R; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State Universityof Science and Technology.

FERREIRA, B. G. Disponibilidade hídrica e produtividade de soja no oeste do Paraná, 2017.

GOUDARD, Gabriela. Interações oceano-atmosfera e efeitos na variabilidade pluvial do clima subtropical brasileiro. 2023. 323 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

LIMBERGER, L. Variabilidade da vazão de regiões homogêneas da bacia hidrográfica amazônica brasileira: teleconexões com a temperatura da superfície do mar (TSM) de 1976-2010. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - FFLCH/USP, 487p., 2015.

MARENGO, Jose A.; AMBRIZZI, Tércio; ROCHA, Rosmeri P. da. Clima, tempo e variabilidade climática no Brasil: implicações para a gestão do risco e desastres. Revista Brasileira de Meteorologia, 2013.

MEDEIROS, Thiago de Oliveira. A produtividade da soja em Santa Helena (PR) e sua relação com o fenômeno El Niño/Oscilação Sul. 2019. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, Marechal Cândido Rondon, 2019.

MELO-ABREU, José Paulo de; RIBEIRO, António Castro. Os danos de geada: conceitos, mecanismos e modelos de simulação. In: A ARTE DE PREVER E PREVENIR O GELO E O CONGELAMENTO EM PORTUGAL. Lisboa: Escolar Editora, 2014. p. 203-235.



SILVA, R. R. da. Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja no município de Ibirubá-RS. 2013.93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia e Geociências, UFSM. RS, 2013.

WASKO, Conrad et al. Evidências de chuvas mais curtas e extremas e aumento da variabilidade de inundações devido às mudanças climáticas. Revista de Hidrologia, v. 603, n. 126994, 2021.