

IX Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia

Extremos de precipitação durante o período de plantio da soja na região do MATOPIBA

Precipitation extremes during the soybean planting period in the MATOPIBA region

Ítalo Reis¹, Douglas Lindemann¹, Alvaro Avila-Diaz², Luciana Pinto¹,
Rose Ane Pereira de Freitas¹, Raquel Machado¹

¹Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

²Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade dos extremos dos diassecos (CDD) e úmidos (CWD) consecutivos durante o período de plantio (outubro-novembro-dezembro) da soja na região do MATOPIBA entre os anos de 1980 a 2019. Foram utilizados dados diários de precipitação provenientes de Xavier *et al.* (2022), com resolução espacial de 0,1° x 0,1° e temporal de 1980 até 2019. Os índices climáticos extremos utilizados (CDDeCWD) foram definidos pelo ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) e foram aplicadas técnicas estatísticas para maior conhecimento e compreensão da variabilidade da precipitação na região de interesse. Entre os principais resultados observa-se a tendência de aumento (diminuição) de 1 a 3 (1 a 2) dias/década (dias/dec) nos eventos CDD (CWD) em outubro, além de uma tendência de aumento (2 dias/dec) nos eventos CDD em dezembro. Tais resultados podem implicar no atraso na implementação da safra (outubro) e em déficit hídrico no período vegetativo da planta, devido às irregularidades das chuvas em dezembro. Ademais, verificou-se uma forte influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul nos índices de precipitação, sendo mais um fator limitante nas distribuições das chuvas no MATOPIBA.

Palavras-chave: Dias secos consecutivos (CDD); Dias úmidos consecutivos (CWD); Equipe de especialistas em detecção e índices de mudanças climáticas (ETCCDI); Eventos extremos

ABSTRACT

This work aims to analyze the variability of extreme consecutive dry days (CDD) and wet days (CWD) during the soybean planting period (October-November-December) in the MATOPIBA region from 1980 to 2019. Daily precipitation data from Xavier *et al.* (2022) was used, with a spatial resolution of 0.1° x 0.1° and a temporal resolution from 1980 to 2019. The extreme climate indices used (CDD and CWD) were

defined by the ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) and statistical techniques were applied for a better understanding of precipitation variability in the region of interest. Among the main results, an increasing (decreasing) trend of 1 to 3 (1 to 2) days/decade in CDD (CWD) events in October was observed, along with an increasing trend (2 days/decade) in CDD events in December. These results may imply a delay in the implementation of the harvest (October) and a water deficit during the plant's vegetative period, due to irregularities in December rainfall. Furthermore, there was a strong influence of the El Niño Southern Oscillation phenomenon on precipitation indices, serving as an additional limiting factor in rainfall distributions in MATOPIBA.

Keywords: Consecutive dry days (CDD); Consecutive wet days (CWD); Expert team on climate change detection and indices (ETCCDI); Extreme events

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui um papel relevante no cenário mundial quando se trata de produção de soja. Na safra 2020/2021 foram produzidas aproximadamente 135 milhões de toneladas do grão (Conab, 2021). Apesar do número expressivo, a expectativa inicial era de que a produtividade fosse ainda maior, pois ao comparar com a safra anterior (2019/2020) o volume total de soja aumentou apenas 4,3% (Conab, 2021).

A produtividade abaixo do esperado foi atribuída à seca prolongada nas fases críticas de desenvolvimento e no momento da semeadura da cultura nas principais regiões produtoras do Brasil, causado pelo atraso do período chuvoso nas regiões Centro-Oeste e MATOPIBA (Conab, 2021).

Ao longo das últimas décadas, o cultivo da soja evoluiu no Brasil de uma cultura localizada, com plantio adequado apenas em regiões com fotoperíodos longos, para a cultura mais cultivada em todo o país. Isso aconteceu graças ao desenvolvimento de variedades que permitiram mudanças no calendário de plantio, possibilitando tanto o cultivo em latitudes mais baixas quanto a adoção de modernos sistemas de dupla safra (Abrahão e Costa, 2018). Neste novo cenário, o MATOPIBA (região composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) tem chamado a atenção nos últimos anos, sendo considerado a "Nova Fronteira Agrícola" e é responsável por cerca de 12% da produção de soja no Brasil.

Esta evolução foi possível, em conjunto como desenvolvimento genético, ao melhoramento do manejo agrícola, que se tornou um fator determinante da produção agrícola, uma vez que as datas de plantio influenciam as condições ambientais às quais as safras estarão sujeitas (Ray e Foley, 2013).

Sabe-se que o desenvolvimento das culturas ao longo da safra são consideravelmente influenciadas pelas condições meteorológicas, fatores socioeconômicos e tecnológicos (Kucharik, 2006; Sacks Et Al., 2010; Ray *et al.*, 2015). A maioria desses fatores não podem ser controlados ao longo da safra, mas há a possibilidade de seus efeitos serem estimados com antecedência. Estimar as condições da safra e adotar as práticas de manejo mais adequadas para cada cultura com base em suas relações com o comportamento climático, pode ser uma abordagem promissora visando maiores produtividades (Stehfest *et al.*, 2007; Waha *et al.*, 2012).

As condições climáticas em algumas regiões do Brasil viabilizam a semeadura de uma segunda safra (ou "safrinha"), depois da soja, na mesma área, comuns em regiões como o Centro-Oeste brasileiro e na região do MATOPIBA (Arvor *et al.*, 2012; Vanwey *et al.*, 2013). A execução de duas safras depende de uma estação chuvosa longa o suficiente para acomodar os dois ciclos de cultivo. Para aproveitar ao máximo a estação das chuvas, os agricultores tendem a semear a soja o mais cedo possível (Abrahão e Costa, 2018).

Estudos sobre a climatologia das chuvas no Brasil, assim como a análise dos eventos extremos já possuem um importante embasamento teórico. No caso da região do MATOPIBA, Salvador e Brito (2018) identificaram para o período de 1965 a 2012 um aparente deslocamento do período chuvoso, com diminuição das precipitações no mês de outubro e um aumento durante o mês de maio, verificando também tendências significativas para a região durante o período em análise. Silva *et al.* (2019) ao estimarem a intensidade, duração e frequência das chuvas, observaram que as chuvas mais intensas estão presentes nas regiões centro-norte do MATOPIBA.

Além do comportamento médio das precipitações, outros estudos aplicam índices climáticos para analisar o risco de extremos climáticos para os sistemas naturais e sociedade em eventos climáticos passados, usando dados históricos observados (Santos *et al.*, 2017). A economia brasileira, por exemplo, tem sido altamente vulnerável à variabilidade do clima, especialmente aos extremos de precipitação, que podem levar a perdas consideráveis nas atividades agrícolas e problemas na gestão dos recursos hídricos (Tomasella *et al.*, 2012; RAY *et al.*, 2015; Marengo *et al.*, 2017; Avila-Diaz *et al.*, 2020a; Avila-Diaz *et al.*, 2020b).

Em específico para a região do MATOPIBA, Reis *et al.*, (2020a; 2020b) observaram que o El Niño Oscilação Sul (ENOS) possui influência no desenvolvimento da safra. Os autores determinaram que durante a fase fria do ENOS os volumes de chuva foram maiores, enquanto que durante a fase quente do fenômeno constatou-se um aumento de condições de risco hídrico, com algumas exceções durante os meses de janeiro e fevereiro. Ainda de acordo com os autores, os diferentes cenários climáticos podem alterar os padrões de risco agrícola, onde o cenário mais favorável pode resultar em aumento da produtividade e uma janela favorável para a semeadura da soja, enquanto que o cenário desfavorável as perdas de produtividade estarão atreladas às datas de plantio.

Em vista disso, o objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade e os extremos dos dias secos (CDD) e úmidos (CWD) consecutivos durante o período de plantio da soja na região do MATOPIBA entre os anos de 1980 a 2019.

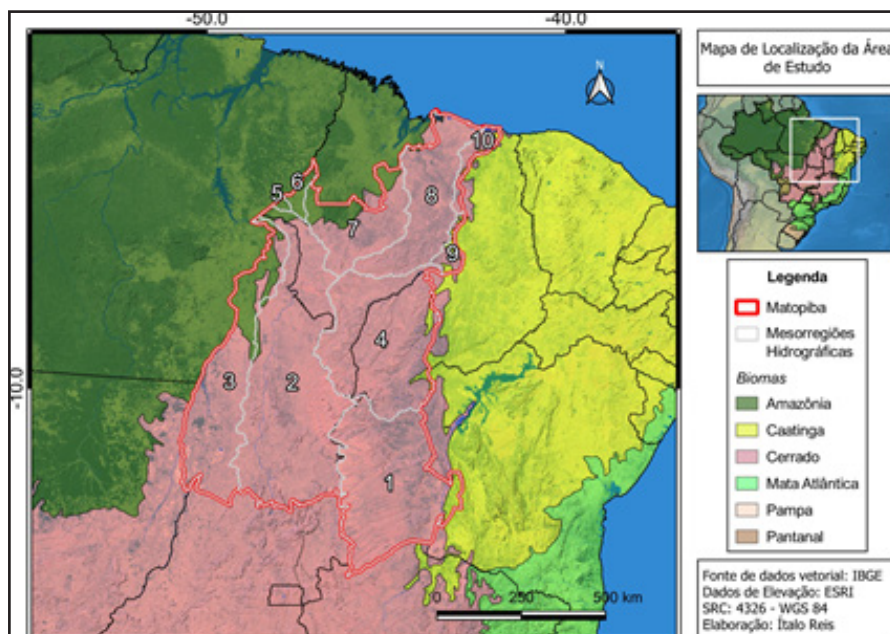
2 METODOLOGIA

2.1 Região de estudo

A região do MATOPIBA está inserida, em grande parte, no bioma Cerrado, contendo apenas pequenas áreas a Noroeste e Leste nos biomas Amazônia e Caatinga, respectivamente (Figura 1 e Tabela 1). Por característica do bioma, a região é constituída por diversas paisagens, podendo conter desde formações florestais a regiões de campo

e arbustivas (Ribeiro e Walter, 2008). A presença de formações campestres e savânicas (facilidade de manejo para troca de uso do solo), atrelado a uma topografia plana, fez com que o MATOPIBA se tornasse a nova fronteira agrícola brasileira.

Figura 1 – Localização da região do MATOPIBA, com contorno vermelho



Fonte: Autores (2023)

Tabela 1 – Identificação das mesorregiões que fazem parte do MATOPIBA

Identificação	Mesorregião
1	Médio São Francisco
2	Alto Tocantins
3	Araguaia
4	Alto Parnaíba
5	Baixo Tocantins
6	Gurupi
7	Mearim
8	Itapecuru
9	Médio Parnaíba
10	Baixo Parnaíba

Fonte: Autores (2023)

Em relação ao clima da região, seguindo a classificação de Köppen-Geiger, grande parte se enquadra como: Tropical de savana com estação seca de inverno. Em grande parte do território tem como característica a presença de uma estação seca (4 a 5 meses) e chuvosa bem definida, inverno e verão, respectivamente e temperaturas superiores a 18°C em todos os meses do ano. Já o limite leste é caracterizado por um clima semi-árido, com baixa umidade e precipitação (6 meses secos) e temperaturas elevadas (acima de 18°C em todos os meses do ano) (IBGE, 2002).

2.2 Banco de dados

Para o presente trabalho foram utilizados dados diários de precipitação provenientes de Xavier *et al.* (2022), que é um conjunto de dados observacionais sobre o Brasil, com resolução espacial de 0,1° x 0,1° e resolução temporal de 1980 até 2019 (<https://github.com/AlexandreCandidoXavier/BR-DWGD>). O conjunto foi criado a partir de informações coletadas dos sites da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de 1.252 estações meteorológicas (642 de estações convencionais e 610 de estações automáticas) e 11.473 pluviômetros, espalhados pelo território brasileiro que posteriormente foram interpoladas e realizada validação cruzada dos resultados.

2.3 Índices climáticos

Os índices climáticos extremos utilizados foram: Dias Secos Consecutivos (CDD – Consecutive Dry Days) e Dias Úmidos Consecutivos (CWD – Consecutive Wet Days), que são definidos pelo ETCCDI (Zhang *et al.*, 2011; https://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml). Tais índices extremos relacionados à precipitação caracterizam eventos de duração de precipitação (Tabela 2).

Os índices climáticos selecionados foram calculados para o trimestre outubro, novembro e dezembro, que é quando ocorre grande parte da plantação de soja no MATOPIBA (Embrapa, 2017). Foram calculadas médias espaciais da região e cálculo

da tendência do conjunto de dados, via teste de Mann-Kendall (considerado estatisticamente significativo ao p-value igual ou menor a 0,05), dos índices para melhorar o conhecimento e a compreensão da variabilidade da precipitação na região de interesse. Além disso, os índices escolhidos foram baseados em sua relevância para a área de estudo e capacidade de comparação com avaliações em diferentes partes do mundo (Sillmann *et al.*, 2013; Alexander e Arblaster, 2017; Avila-Diaz *et al.*, 2020a; Avila-Diaz *et al.*, 2020b).

Tabela 2 – Descrição dos índices de precipitação utilizados no estudo

Índice	Explicação	Unidade
PRCPTOT	Acumulado mensal	mm
CDD	Número (N) de dias secos consecutivos, quando a precipitação for menor que 1 mm/dia (foi considerado N = 5).	Dias
NCDD	Quantidade de períodos secos maiores que N dias	Dias
CWD	Número (N) de dias úmidos consecutivos, quando a precipitação for maior que 1 mm/dia (foi considerado N = 5).	Dias
NCWD	Quantidade de períodos úmidos maiores que N dias.	Dias

Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2011)

Com a finalidade de relacionar possíveis causas e influências de fatores atmosféricos e as variações dos índices extremos de precipitação, foi calculada a correlação de Pearson (considerado estatisticamente significativo ao p-value igual ou menor a 0,05) entre o índice Niño 3.4 (https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Nino34/) do ENOS e a média espacial dos índices CDD e CWD para o trimestre em análise, com aplicação de lags (conforme descrito na Tabela 3) para compreender se há alguma defasagem entre a atuação do fenômeno ENOS e a sua influência na precipitação na região do MATOPIBA, no presente estudo foram utilizados até o lag -3, para uma estimativa inicial da influência do ENOS na região.

Tabela 3 – Detalhamento do uso de lags no estudo

Meses	lag 0	lag -1	lag -2	lag -3
Outubro	Outubro	Setembro	Agosto	Julho
Novembro	Novembro	Outubro	Setembro	Agosto
Dezembro	Dezembro	Novembro	Outubro	Setembro

Fonte: Autores (2023)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

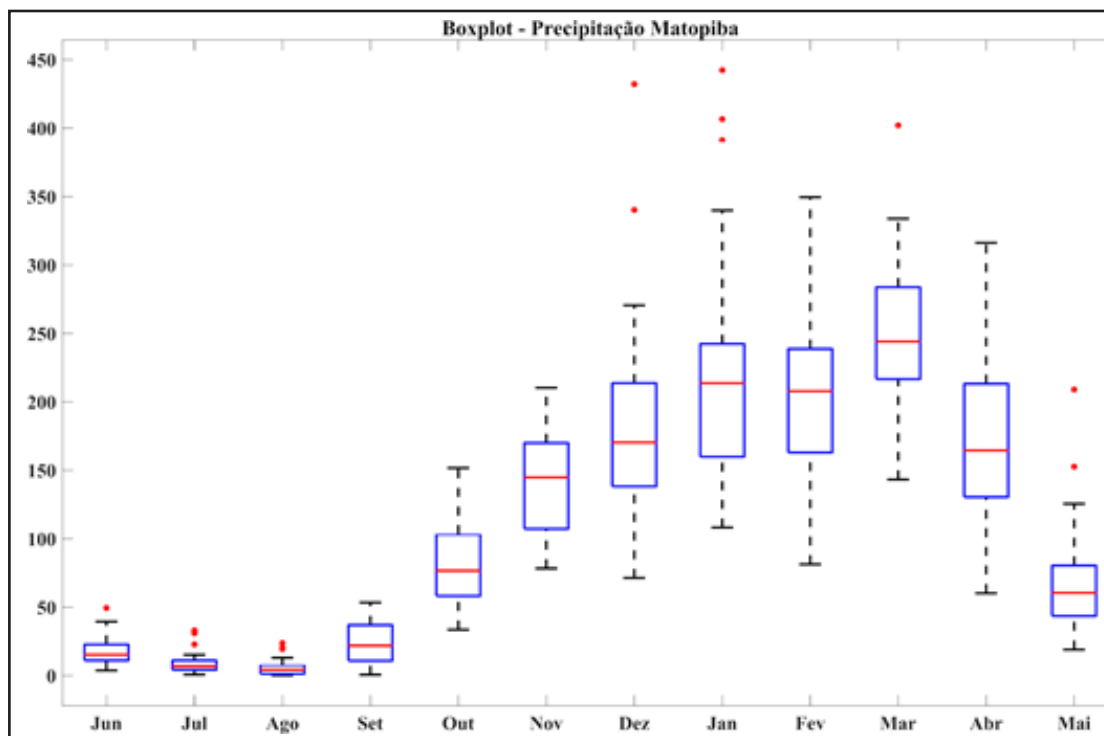
3.1 Valores médios de precipitação

A região do MATOPIBA é caracterizada por dois períodos distintos em relação à precipitação, com o período chuvoso iniciando em outubro, com valores médios em torno de 50 mm/mês (Figura 2). Entre o período de novembro a janeiro os acumulados mensais vão aumentando progressivamente, com valores em torno de 150 mm/mês em novembro e alcançando valores de 200 mm/mês em janeiro.

Outliers (350 a 450 mm/mês) foram observados entre os meses de dezembro e janeiro, sugerindo que são meses propícios à ocorrência de eventos extremos de precipitação. Em fevereiro o acumulado mensal médio se mantém próximo a 200 mm, porém, sem outliers. Em março, é constatado o valor médio mensal mais elevado durante o ano, com acumulados próximos a 250 mm, e outlier de 400 mm.

Os meses de abril e maio são caracterizados pela redução dos acumulados mensais, indicando o término do período chuvoso, passando de 170 mm (abril) para 70 mm (maio). Até finalmente chegar ao período de inverno austral, quando os valores não ultrapassam os 50 mm entre junho e setembro. Segundo Aparecido *et al.* (2023), mais de 80% da precipitação na região do MATOPIBA está concentrada entre os meses de outubro a abril.

Figura 2 – Boxplot dos valores mensais de precipitação (mm) para o período de 1980 a 2019



Fonte: Autores (2023)

3.2 Precipitação espacializada para o trimestre

Os maiores acumulados médios de precipitação (PRCPTOT) durante outubro (Figura 3a) variam entre 100 e 200 mm nas mesorregiões do Araguaia e parte Alto Tocantins. Enquanto nas mesorregiões do Médio São Francisco e parte do Alto Tocantins experimentam acumulados mensais próximos de 100 mm. Apenas as mesorregiões do Alto, Médio e Baixo Parnaíba, Itapecuru, Mearim e Gurupi que mantêm acumulados abaixo dos 50 mm durante outubro.

Este comportamento espacial da precipitação é mantido nos meses subsequentes (novembro e dezembro, figuras 3C e 3E, respectivamente), no entanto, os acumulados médios mensais aumentam e podem chegar a 300 mm em dezembro nas mesorregiões do Alto Tocantins e Araguaia, conforme também descrito por Neto

et al. (2021). Aparecido *et al.* (2023) também verificaram que os maiores acumulados ocorrem especialmente nas mesorregiões citadas anteriormente, os autores também ressaltam que as regiões ao sul do Maranhão (Alto Parnaíba) e extremo oeste da Bahia (Médio São Francisco) também indicam altos acumulados durante o período chuvoso, conforme verificado nas Figuras 3C e 3E.

Diferentes sistemas atmosféricos influenciam o cenário das chuvas na região do MATOPIBA. Eles estão associados a uma característica peculiar que é a transição entre biomas, que por sua vez, modulam a variabilidade intra-sazonal da precipitação (Valadão *et al.*, 2017). O posicionamento de dois sistemas atmosféricos determinam a ocorrência de precipitação na região: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que proporciona maiores acumulados mais a norte, e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que colabora com os maiores acumulados na metade sul do MATOPIBA (Grim, 2011; Oliveira *et al.*, 2017).

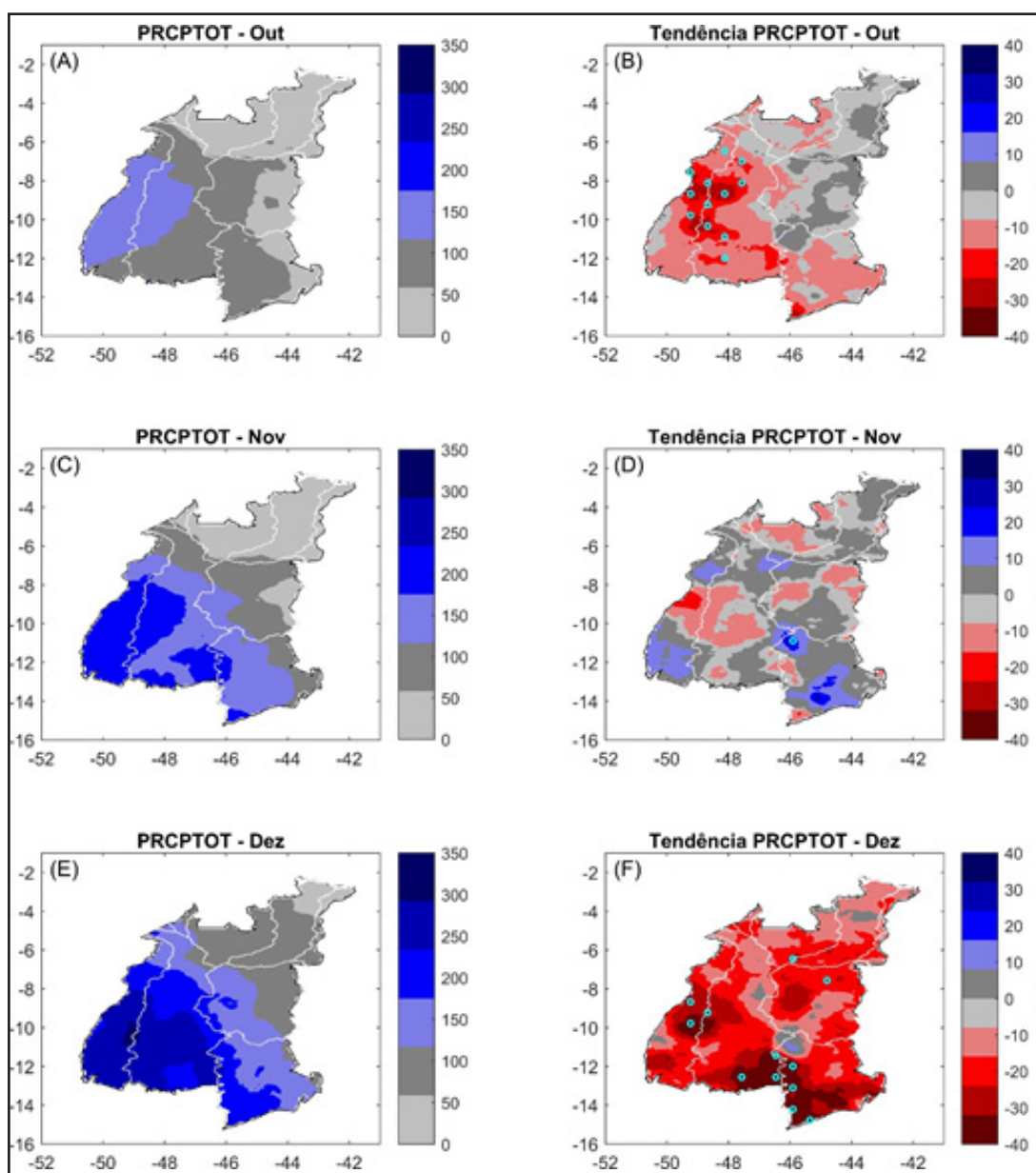
O MATOPIBA também é caracterizado pelo predomínio da tendência de redução do PRCPTOT durante o período de 1980 a 2020, assim como também foi observado por Bezerra *et al.* (2019) ao analisar o período de 1947 a 2012, encontraram tendências negativas significativas para as mesorregiões do Médio São Francisco e Alto Parnaíba. Durante outubro (Figura 3b) as reduções nos acumulados podem chegar a 30 mm/dec nas mesorregiões do Alto Tocantins e Araguaia, sendo uma redução significativa.

Nenhuma alteração significativa é constatada em novembro (Figura 3D), no entanto, em dezembro (Figura 3F) é verificado uma tendência de redução considerável no MATOPIBA (até 40 mm/dec), principalmente ao sul das mesorregiões do Médio São Francisco e Alto Tocantins. Este resultado encontrado é relevante, pois representa um pouco mais de 10% do valor total observado mensalmente. Estes resultados com tendências negativas (não significativas) de precipitação também foram encontradas por Reis *et al.* (2020b) para o MATOPIBA.

A redução de PRCPTOT a longo prazo pode caracterizar uma redução do bioma Amazônia nas mesorregiões do Alto Tocantins e Araguaia, além disso, esse cenário de

redução do regime de chuvas impacta de forma negativa na atividade agrícola, pois a baixa disponibilidade de chuva e consequente disponibilidade de água no solo faz com que as plantas reduzem sua eficiência fotossintética, e desta forma não alcançam seu potencial produtivo (Aparecido *et al.*, 2023).

Figura 3 – Valores médios mensais (coluna da esquerda - mm) e tendências (coluna da direita - dia/dec) para o índice PRCPTOT, A-B) Outubro, C-D) Novembro e E-F) Dezembro. Círculos na cor azul ciano indicam que a região é estatisticamente significativa a 95%



Fonte: Autores (2023)

3.2 Índices CDD e CWD

Como verificado anteriormente, o trimestre em análise é caracterizado por um aumento progressivo dos acumulados mensais de precipitação, no entanto, é importante diagnosticar a distribuição espaço/temporal dessa precipitação: uma forma é calculando o número médio de ocorrências de dias secos consecutivos (CDD). Durante o mês de outubro, foi observado que os valores de CDD variam de 0 nas mesorregiões do Alto Tocantins e Araguaia, até 15 dias no mês nas mesorregiões do Baixo, Médio e Alto Parnaíba, além do Médio São Francisco e Itapecuru (Figura 4A).

Nos meses seguintes, o número médio de ocorrências de CDD diminui para menos de 10 em toda a região (Figuras 4C e 4E), exceto ao norte das mesorregiões de Itapecuru e Baixo Parnaíba, que ainda mantém valores de CDD entre 10 e 15 dias.

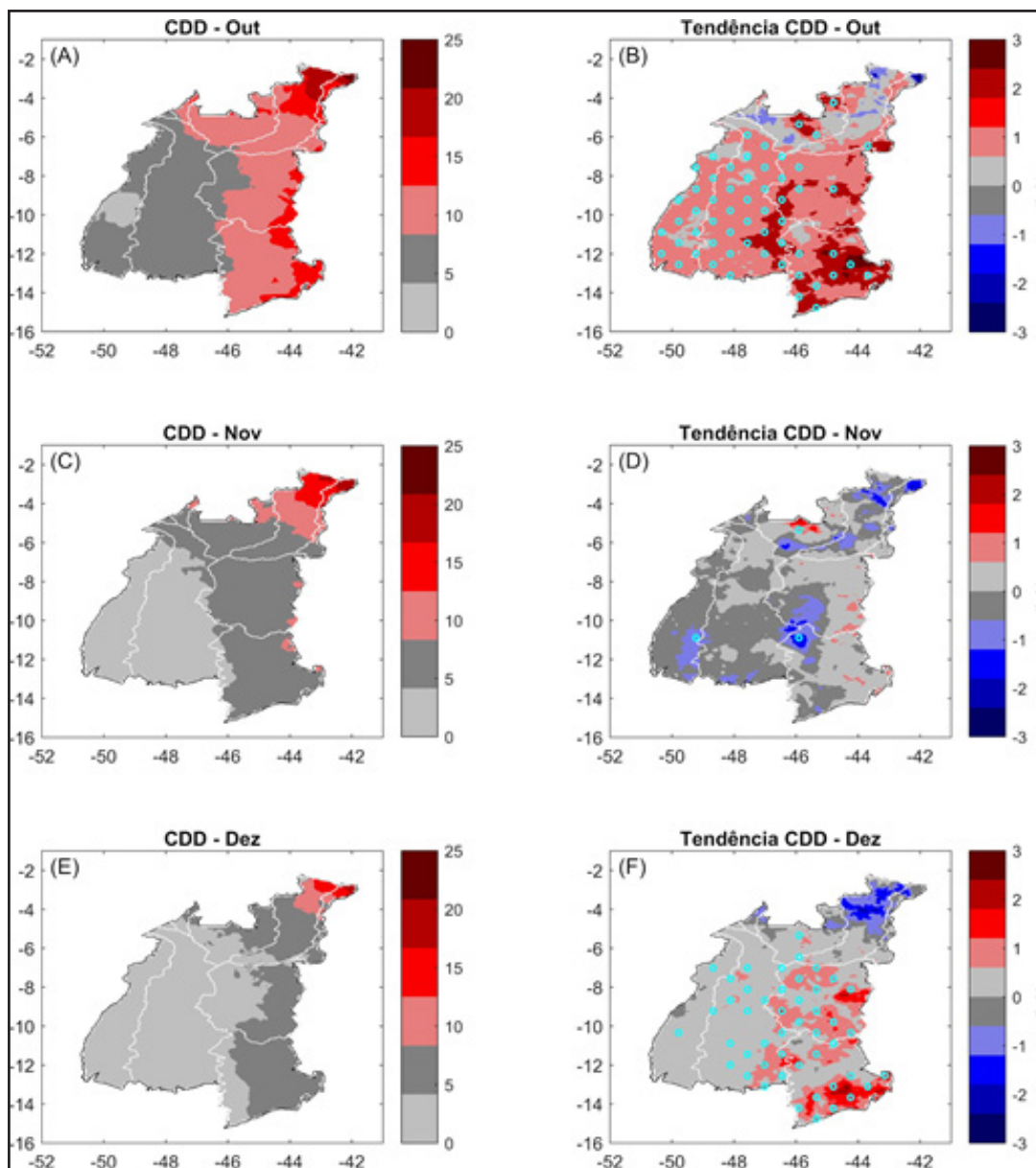
Ao avaliar a tendência do índice, percebe-se valores positivos estatisticamente significativos de CDD em praticamente todas as regiões durante o mês de outubro (Figura 4B), principalmente nas mesorregiões do Médio São Francisco, Alto Tocantins, Araguaia e Alto Parnaíba, com valores de tendência de CDD de 3 dias/década (dias/dec). Para o mês de novembro (Figura 4D), praticamente não há tendência no índice CDD, passando por pequenas reduções (não significativas). No entanto, destaca-se um novo aumento nos eventos CDD em dezembro (Figura 4F), principalmente nas mesorregiões citadas anteriormente (exceto Araguaia).

A tendência positiva para CDD encontrada para outubro é coerente com os resultados encontrados por Salvador e Brito (2018), o que sugere uma maior probabilidade de atraso para a implementação da safra. Somado a isso, uma nova tendência de aumento de CDD em dezembro poderá impactar diretamente na fase do período vegetativo da cultura, quando a demanda hídrica da cultura aumenta consideravelmente.

Marengo *et al.* (2022) alertam sobre a mudança no uso da terra para a expansão do agronegócio, juntamente com as mudanças climáticas na zona de transição entre o leste da Amazônia e o Cerrado adjacente, podem ter induzido um agravamento das

condições de seca severa na última década. Os autores ressaltam que as maiores tendências de aquecimento e seca na região durante as últimas quatro décadas são observadas precisamente na região de transição leste da Amazônia-Cerrado (mesorregiões do Alto Tocantins e Araguaia), onde induzem o atraso da estação chuvosa e pioram as condições de seca severa ao longo da última década.

Figura 4 – Valores médios mensais (coluna da esquerda - Dias) e tendências (coluna da direita - dia/dec) para o índice CDD, A-B) Outubro, C-D) Novembro e E-F) Dezembro. Círculos na cor azul ciano indicam que a região é estatisticamente significativa a 95%



Fonte: Autores (2023)

Enquanto o número médio de CDD diminui ao longo do trimestre em análise, por outro lado, ocorre um aumento nos casos de dias úmidos consecutivos (CWD) (Figura 5), com cinco dias, em média, ocorrendo em outubro nas mesorregiões do Alto Tocantins, Araguaia, Médio São Francisco e Alto Parnaíba (Figura 5A).

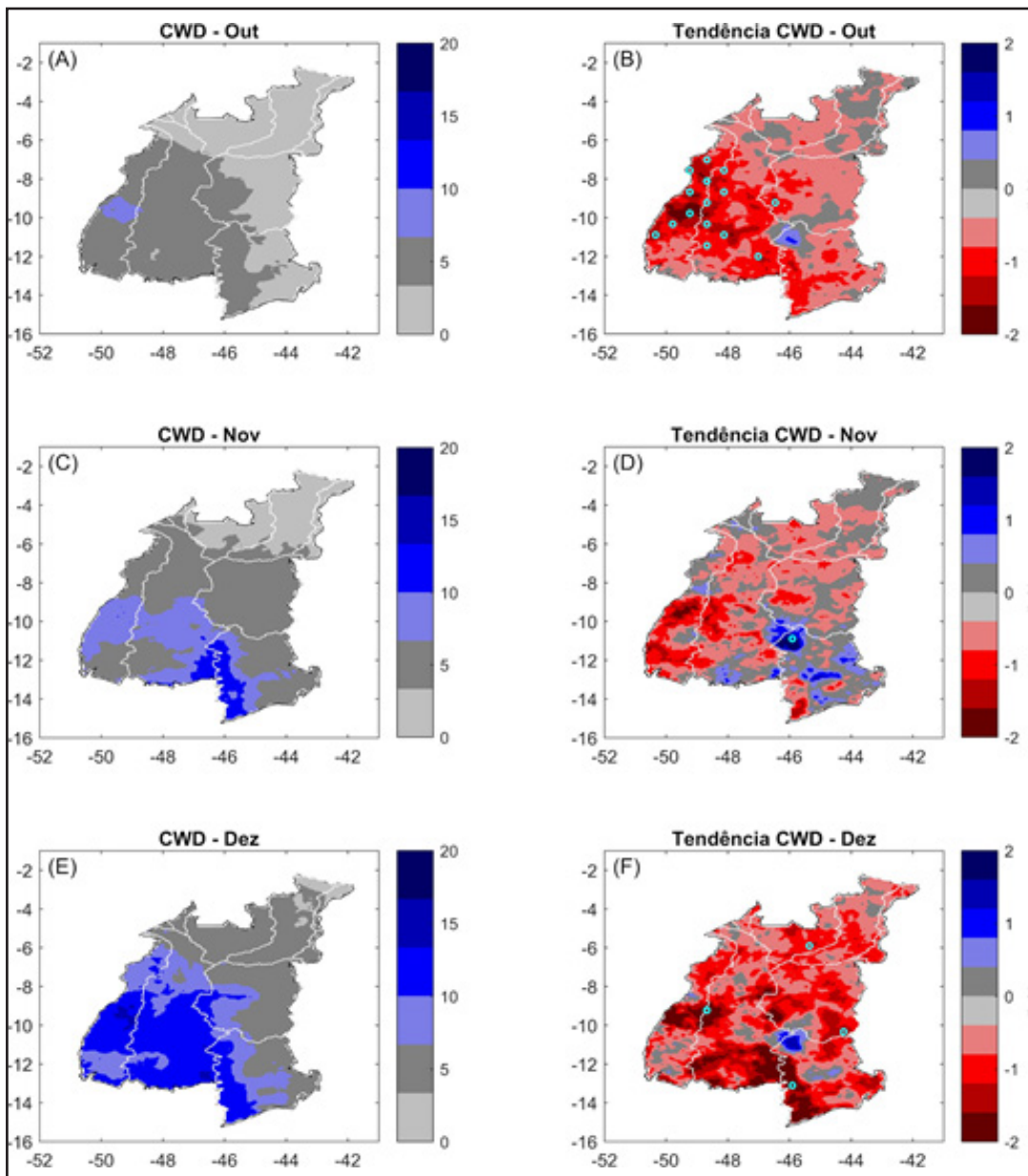
Durante os meses de novembro e dezembro, as mesorregiões citadas anteriormente podem atingir de 10 a 15 dias (Figuras 5C e 5E). Enquanto que a leste das mesorregiões do Médio São Francisco e Alto Parnaíba também experimentam um aumento no número de CWD ao longo do trimestre, e é principalmente nessa região que atualmente se concentra grande parte da produção de soja da região. Para as demais mesorregiões os valores de CWD se concentram de 5 a 10 dias, em média, durante outubro e dezembro.

Assim como observado nos resultados do presente estudo, resultados obtidos por Hofmann *et al.* (2023) também indicaram uma redução significativa na precipitação e na frequência de dias chuvosos nas regiões norte e central do Cerrado no período que compreende o trimestre aqui analisado. Ainda de acordo com os autores, estes resultados estão associados à intensificação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que tem alterado a circulação atmosférica e aumentado a subsidência regional. Os resultados obtidos por Hofmann *et al.* (2023) sugerem uma expansão e intensificação da estação seca na região, potencialmente trazendo amplos impactos ambientais e sociais que transcendem os limites do Cerrado.

O índice CWD apresentou tendência negativa durante o mês de outubro (Figura 5B) para todo o MATOPIBA, principalmente nas mesorregiões do Alto Tocantins e Araguaia, com valores significativos (-2 dias/dec). A tendência de redução dos casos de CWD para outubro, associados com a tendência de aumento dos eventos de CDD (Figura 4A), deve ser interpretado com atenção por produtores e tomadores de decisão do MATOPIBA, visto que é um indicativo de redução no número de dias úmidos, somado com o aumento de dias secos, justamente na época de início do período chuvoso na região, que coincide com o momento de implementação da safra da soja,

podendo gerar atrasos no andamento da safra e forçando que o desenvolvimento da cultura ocorra fora das janelas ideais e condições climáticas favoráveis às exigências que a planta necessita.

Figura 5 – Valores médios mensais (coluna da esquerda - Dias) e tendências (coluna da direita - dia/dec) para o índice CWD, A-B) Outubro, C-D) Novembro e E-F) Dezembro. Círculos na cor azul ciano indicam que a região é estatisticamente significativa a 95%



Fonte: Autores (2023)

Espacialmente, a tendência negativa dos eventos CWD se mantiveram para os meses de novembro e dezembro (Figuras 5D e 5F, respectivamente), porém praticamente sem significância, com valores oscilando entre 1 e 2 dias/dec. Apesar das tendências não serem significativas, essa redução no CWD é um resultado que pode gerar apreensão para os produtores de soja, pois é o período em que grande parte das lavouras estão em período vegetativo.

Além do problema de implementação da safra, o aumento dos eventos CDD com a diminuição de CWD também pode impactar na evapotranspiração no MATOPIBA. De acordo com Aparecido *et al.* (2023) o trimestre em análise faz parte do período em que ocorre as maiores taxas de evapotranspiração, principalmente nas mesorregiões do Alto Tocantins e Araguaia, onde tendências negativas (positivas) estatisticamente significativas de CWD (CDD) foram verificadas em outubro (Figuras 4B e 5B).

Em estudos de Zilli *et al.* (2020) e Aparecido *et al.* (2023) os autores sugerem redução da produção de soja, em áreas do bioma Cerrado, principalmente na região do MATOPIBA, com o deslocamento de áreas produtivas para regiões subtropicais da Mata Atlântica. Porém, os autores reforçam que parte do impacto das mudanças climáticas no MATOPIBA poderia ser compensado pelo aumento da produtividade, o que manteria o cenário agrícola da região.

Segundo Araújo *et al.* (2019), há presença e consolidação de duas zonas de alta produção de soja na região do MATOPIBA, os resultados indicam que a produção de soja na região não ocorreu aleatoriamente, o fator mais relevante que controla esse padrão espacial é que a expansão da soja depende da disponibilidade de uma combinação de terrenos planos, propriedades físicas do solo (textura) favoráveis, bem como condições de chuvas suficientes durante o ciclo da cultura. Os resultados também confirmam estatisticamente a ocorrência da expansão sul-norte da produção de soja nesta região.

Ainda de acordo com Araújo *et al.* (2019), o futuro da expansão da soja no MATOPIBA dependerá do desenvolvimento de novas variedades de culturas mais

resistentes aos períodos de seca. Os agricultores brasileiros usam um limite de precipitação média anual de 1.000 mm para determinar se uma área é adequada para a agricultura de sequeiro. O desenvolvimento de novas variedades deveria reduzir esse limite para cerca de 800 mm. Assim, são necessários esforços para investir em tecnologia e mudanças nos processos de manejo, como adequação do calendário de semeadura das culturas, utilização de cultivares resistentes à seca, uso de irrigação, eficiência na fertilização das culturas, melhoria das condições estruturais e do solo, fertilidade do solo e agricultura de precisão. (Aparecido *et al.*, 2023; Zilli *et al.*, 2020).

3.3 Os índices CDD e CWD e o ENOS

As correlações do CDD e CWD com o índice Niño 3.4, conforme indicado na Tabela 4, sugere uma influência na condição de períodos mais secos na região do MATOPIBA.

Correlações positivas são observadas entre o Niño 3.4 e quantidade de períodos secos (NCDD) que extrapolam o número (N) de dias secos consecutivos (CDD) para os trimestre em análise, com correlações significativas a 95% desde o lag 0 (0.36), até atingir o seu mais alto valor de correlação no lag -3 (0.41). No entanto, os maiores valores de correlação foram observados para CDD, nos lags -2 e -3 (0.45 e 0.46, respectivamente) para os meses de novembro e dezembro. Desta forma, é possível afirmar que existe uma maior possibilidade de ocorrer déficits de precipitação nestes meses na região do MATOPIBA quando ocorre um estabelecimento da fase quente do ENOS durante os meses de agosto e setembro.

Os resultados mencionados anteriormente estão de acordo com os resultados obtidos por Reis *et al.* (2020a; 2020b), onde os autores indicam que durante a fase quente do ENOS ocorre uma maior probabilidade de déficit hídrico durante o período de plantio da soja.

Os resultados obtidos por Jimenez *et al.* (2021) e Marengo *et al.* (2022) também reforçam que a maioria dos episódios de redução das chuvas na região do MATOPIBA estão associados a fatores de grande escala que estão interagindo de forma não linear

na região, entre eles, estão os eventos de El Niño e aquecimento anômalo sobre o Atlântico Norte Tropical (TNA) e até mesmo uma sobreposição entre eles. No entanto, segundo os autores, nem todos os episódios secos mostraram um padrão em grande escala ligado a um evento canônico de El Niño ou a episódios quentes de TNA. Por exemplo, episódios de seca ligados a eventos de El Niño apresentam padrões espaciais distintos de anomalias de precipitação, dependendo do tipo de El Niño (Pacífico Central ou Pacífico Oriental). Mesmo no caso da El Niño forte em 2015/16, alguns impactos regionais não foram explicados pela contribuição do fenômeno, desta forma, os autores reforçam que é necessário incluir o papel dos eventos quentes de TNA na circulação tropical de Walker e Hadley que podem levar à seca na região do MATOPIBA.

Tabela 4 – Coeficientes de correlação de lag 0 a lag -3 entre o índice Niño 3.4 e os índices extremos de precipitação dos meses de outubro, novembro e dezembro na região do MATOPIBA

Outubro				
	CDD	NCDD	CWD	NCWD
Lag 0	0,32	0,36*	-0,27	-0,2
Lag -1	0,35*	0,35*	-0,28	-0,21
Lag -2	0,45*	0,4*	-0,36*	-0,29
Lag -3	0,46*	0,41*	-0,37*	-0,31
Novembro				
	CDD	NCDD	CWD	NCWD
Lag 0	0,44*	0,49*	-0,2	-0,26
Lag -1	0,45*	0,48*	-0,21	-0,3
Lag -2	0,46*	0,5*	-0,23	-0,31
Lag -3	0,52*	0,5*	-0,27	-0,33*
Dezembro				
	CDD	NCDD	CWD	NCWD
Lag 0	0,52*	0,44*	-0,27	-0,4*
Lag -1	0,53*	0,45*	-0,31	-0,42*
Lag -2	0,57*	0,47*	-0,32	-0,43*
Lag -3	0,56*	0,42*	-0,33*	-0,45*

* Estatisticamente significativo com p-value igual ou menor a 0,05

Fonte: Autores (2023)

As correlações negativas entre o número de dias úmidos consecutivos, quando a precipitação for maior que 1 mm/dia (CWD) e o Niño 3.4 para o período em análise, sugere que a fase fria do ENOS pode resultar em aumento de eventos úmidos na região do MATOPIBA, com maiores valores de correlação (e significativas) ocorrendo para os lags -2 (-0,36) e -3 (-0,37) em outubro. Para a quantidade de períodos úmidos (NCWD) maiores que o número (N) de dias úmidos consecutivos (CWD) durante o mês de dezembro, as correlações significativas a 95% ocorreram do lag 0 (-0,40), até atingirem o seu maior valor no lag -3 (-0,45).

Assim como observado para o CDD, as maiores correlações ocorreram em dezembro, no entanto, para o caso do CWD, os maiores valores de correlação ocorreram para o NCWD.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há tendência de aumento (diminuição) de eventos CDD (CWD) em outubro, o que pode ser um indicativo de inviabilidade de plantio durante este período em um futuro próximo, se mantida a tendência.

Além disso, o aumento da tendência nos eventos CDD em dezembro, poderá acarretar em maior possibilidade de chuvas irregulares durante a fase vegetativa da cultura.

As principais alterações nos índices ocorreram nas regiões de transição do bioma Amazônico para o Cerrado (mesorregiões Araguaia e Alto Tocantins) e na parte sul-sudeste do MATOPIBA (mesorregião Médio São Francisco), onde ocorre uma expansão da cultura da soja.

Associado com a tendência de redução dos eventos CWD também em dezembro, que mesmo não sendo significativas, podem implicar em irregularidades na distribuição das chuvas.

É possível identificar a influência da temperatura da superfície do mar na região do Niño 3.4 na região do MATOPIBA, com correlações positivas para todos os meses

do trimestre, com os maiores valores de correlação ocorrendo em dezembro e com defasagens de três meses (lag -3), indicando que a formação e estabelecimento do fenômeno no início da primavera, é um indicativo de influência nos padrões de chuva no MATOPIBA.

Estudos futuros sobre o comportamento de grande escala da atmosfera que impactam na distribuição espacial das chuvas na região se fazem necessários. Assim como uma possível relação destes índices de precipitação com a produtividade da soja.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo suporte financeiro, através do projeto número 22/2551-0000617-5. O Terceiro Autor agradece à Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia por apoiar esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, G.; COSTA, M. Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems. *Agric. For. Meteorol.*, v. 256-257, p. 32-45, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.031>.

ALEXANDER, L.; ARBLASTER, J. Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. *Weather Clim. Extrem.*, v. 15, p. 34-56. mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.02.001>.

APARECIDO, L. E. O.; DUTRA, A. F.; LORENÇONE, P. A.; NETO, F. A.; LORENÇONE, J. A.; LEITE, M. R. L. Climate change in MATOPIBA region of Brazil: a study on climate extremes in agriculture. *Theor. Appl. Climatol.*, v. 153, p. 87-100, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04509-x>.

ARAÚJO, M. L. S.; SANO, E. E.; BOLFE, E. L.; SANTOS, J. R. N.; SANTOS, J. S.; SILVA, F. B. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy*, v. 80, p. 57-67, jan. 2019, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.040>.

ARVOR, D.; MEIRELLES, M.; DUBREUIL, V.; BÉGUÉ, A.; SHIMABUKURO, Y. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. *Appl. Geogr.*, v.32, p. 702-713. mar. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.007>.

AVILA-DIAZ, A.; ABRAHÃO, G.; JUSTINO, F.; TORRES, R.; WILSON, A. Extreme climate indices in Brazil: evaluation of downscaled earth system models at high horizontal resolution. *Clim. Dyn.* v. 54, p. 5065-5088. apr. 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05272-9>.

AVILA-DIAZ, A.; BENEZOLI, V.; JUSTINO, F.; TORRES, R.; WILSON, A. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. *Clim. Dyn.* v. 55, p. 1403-1426. jul. 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05333-z>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos - Safra 2020/2021. 12º Levantamento, Brasília, v. 8, nº 12, p. 1-97, Setembro de 2021.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Zoneamento de Risco Climático para Determinação de Épocas de Semeadura da Cultura da Soja na Região MATOPIBA. 1º ed. v. 18, p. 44, 2017.

HOFMANN, G. S.; SILVA, R. C.; WEBER, E. J.; BARBOSA, A. A.; OLIVEIRA, L. F. B.; ALVES, R. J. V.; HASENACK, H.; SCHOSSLER, V.; AQUINO, F. E.; CARDOSO, M. F. Changes in atmospheric circulation and evapotranspiration are reducing rainfall in the Brazilian Cerrado. *Sci Rep.*, v. 13. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38174-x>. IBGE. Mapa de Clima do Brasil. 2022. Disponível em: <http://www.visualizador.inde.gov.br/>

JIMENEZ, J. C.; MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SULCA, J. C.; TAKAHASHI, K.; FERRETT, S.; COLLINS, M. The role of ENSO flavours and TNA on recent droughts over Amazon forests and the Northeast Brazil region. *Int J Climatol.*, v. 41, p. 3761-3780, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6453>.

KUCHARIK, C. A multidecadal trend of earlier corn planting in the Central USA. *Agron. J.*, v. 98, p. 1544-1550, nov. 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2006.0156>.

MARENGO, J.; TORRES, R.; ALVES, L. Drought in Northeast Brazil-past, present, and future. *Theor. Appl. Climatol.* v. 129, p. 1189-1200, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>.

MARENGO, J. A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J.-C.; CUNHA, A. P.; ARAGÃO, L. E. O. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. *Sci Rep.*, v. 12. jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4>.

RAY, D.; FOLEY, J. Increasing global crop harvest frequency: recent trends and future directions. *Environ. Res. Lett.*, v. 8, 44041. nov. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/044041>.

RAY, D.; GERBER, J.; MacDONALD, G.; WEST, P. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nat. Commun.*, v. 6, 5989. jan. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms6989>.

REIS, L. C.; SILVA, C. M. S.; BEZERRA, B. G.; SPYRIDES, M. H. C. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. *Rev. Bras. Geogr. Fís.*, v. 13, p. 1425-1441, mai. 2020a.

REIS, L.; SILVA, C. M. S.; BEZERRA, B.; MUTTI, P.; SPYRIDES, M. H.; SILVA, P.; MAGALHÃES, T.; FERREIRA, R.; RODRIGUES, D.; ANDRADE, L. Influence of Climate Variability on Soybean Yield in MATOPIBA, Brazil. *Atmosphere*, v. 11, 1130, oct. 2020b. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11101130>.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*, v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876 p.

SACKS, W.; DERYNG, D.; FOLEY, J.; RAMANKUTTY, N. Crop Planting Dates: An Analysis of Global Patterns. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, v. 19, p. 607-620, aug. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00551.x>.

SALVADOR, M.; BRITO, J. Trend of annual temperature and frequency of extreme events in the MATOPIBA region of Brazil. *Theor. Appl. Climatol.* v. 133, p. 253-261. jun. 2018. DOI <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2179-5>.

SANTOS, M.; FRAGOSO, M.; SANTOS, J. Regionalization and susceptibility assessment to daily precipitation extremes in mainland Portugal. *Appl. Geogr.*, v. 86, p. 128-138. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.020>.

SILLMANN, J.; KHARIN, V.; ZWIERS, F.; ZHANG, X.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: part 2. Future climate projections. *J. Geophys. Res. Atmos.*, v. 118, p. 2473-2493. sep. 2013. doi: <https://doi.org/10.1002/jgrd.50188>.

SILVA, L.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A.; JÚNIOR, J.; BATTISTI, R. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships for Risk Analysis in the Region of Matopiba, Brazil. *Rev. Bras. Meteorol.*, v. 34, p. 247-254. apr-jun. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786334023>.

STEHFEST, E.; HEISTERMANN, M.; PRIESS, J.; OJIMA, D.; ALCAMO, J. Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. *Ecol. Model.*, v. 209, p. 203-219. dec. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.06.028>.

TOMASELLA, J.; PINHO, P.; BORMA, L.; MARENGO, J.; NOBRE, C.; BITTENCOURT, O.; PRADO, M.; RODRIGUEZ, D.; CUARTAS, L. The droughts of 1997 and 2005 in Amazonia: floodplain hydrology and its potential ecological and human impacts. *Clim. Change*, v. 116, p. 723-746. jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0508-3>.

VANWEY, L.; SPERA, S.; DE SA, R.; MAHR, D.; MUSTARD, J. Socioeconomic development and agricultural intensification in Mato Grosso. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, v. 368, jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0168>.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961-2020). *Int. J. Climatol.* v. 42, p. 8390-8404. may. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7731>

WAHA, K.; VAN BUSSEL, L.; MÜLLER, C.; BONDEAU, A. Climate-driven simulation of global crop sowing dates. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, v. 21, p. 247-259. may. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00678.x>.

ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G.; JONES, P.; TANK, A.; PETERSON, T.; TREWIN, B.; ZWIERS, F. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdiscip. Rev.: Clim. Change*, v. 2, p. 851-870. oct. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcc.147>.

ZILLI, M.; SCARABELLO, M.; SOTERRONI, A. C.; VALIN, H.; MOSNIER, A.; LECLÈRE, D. HAVLÍK, P.; KRAXNER, F.; LOPES, M. A.; RAMOS, F. M. The impact of climate change on Brazil's agriculture. *Sci. Total. Environ.*, v. 740, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139384>.

Contribuição de Autoria

1 – Ítalo Seilhe Reis

Geógrafo pela Universidade Federal do Rio Grande. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-4674-4702> • italoseilhe@gmail.com
Contribuição: Escrita – Primeira Redação, Análise Formal

2 – Douglas da Silva Lindemann

Meteorologista, Doutor em Meteorologia Aplicada. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-7503-143X> • douglas.lindemann@ufpel.edu.br
Contribuição: Escrita - Revisão e Edição, Análise Formal

3 – Alvaro Javier Avila-Diaz

Engenheiro Agrícola, Doutor em Meteorologia Aplicada. Colegio Mayor de Nuestra Señora Del Rosario. Universidad del Rosario, Colômbia.
<https://orcid.org/0000-0002-0404-4559> • alvaro.avila@urosario.edu.com
Contribuição: Escrita – Primeira Redação, Análise Formal

4 – Luciana Barros Pinto

Meteorologista, Doutora em Meteorologia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-7908-5972> • luciana.pinto@ufpel.edu.br
Contribuição: Escrita - Revisão e Edição, Análise Formal

5 – Rose Ane Pereira de Freitas

Meteorologista, Doutora em Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-0186-3484> • rosefreitas78@gmail.com
Contribuição: Escrita – Primeira Redação, Análise Formal

6 – Raquel Machado Machado

Graduanda em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

<https://orcid.org/0009-0009-0773-3470> • machadomraquel@gmail.com

Contribuição: Escrita - Revisão e Edição, Análise Formal

Como citar este artigo

Reis, I.; Lindemann, D.; Avila-Diaz, A.; Pinto, L.; Freitas, R. A. P.; Machado, R. Extremos de precipitação durante o período de plantio da soja na região do MATOPIBA. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 47, n. esp. 3, 2025. DOI 10.5902/2179460X84041. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X84041>.