Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
BIBLIOTECA Coordenadoria de Bibliotecas Portal de Periódicos
ISSN 2237-8642

EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL E PRODUÇÃO DE MILHO GRÃO: ANÁLISE DOS PRINCIPAIS MUNICÍPIOS PRODUTORES DO SEALBA

El niño-southern oscillation and corn production: an analysis of the main producing municipalities in the SEALBA region

El Niño-Oscilación del Sur y la producción de maíz: análisis de los principales municipios productores de SEALBA

Autor(a) Saulo de Jesus Dantas
Universidade de São Paulo
saulodantas@live.com

Autor(a) Regina Avila Santos
Universidade de São Paulo
regina.avila@usp.br

Autor(a) Igor Cristian de Oliveira Vieira
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
cristianigor67@gmail.com

Resumo: A região do SEALBA destaca-se como uma nova fronteira de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro. Diante disso, este estudo analisou os cinco maiores municípios produtores de milho da região, considerando os dados de produção e produtividade médias entre 2003 e 2022, bem como sua relação com os eventos climáticos. Os dados foram extraídos do IBGE e alinhados com o zoneamento de risco climático do MAPA. Realizou-se análise de correlação de Pearson entre produção de milho, produtividade e precipitação, por meio do coeficiente de determinação (R^2). Também foram analisadas as normais climatológicas (1992–2022) e a ocorrência dos fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), com base em dados da NOAA e do CPTEC, nos períodos de plantio/cultivo e colheita. A classificação climática de Köppen foi utilizada para caracterizar o clima dos municípios, e o balanço hídrico, para avaliar a disponibilidade de água no solo. As correlações entre produção de milho e produtividade foram fortes, entre produção de milho e precipitação, menos expressivas. As normais climatológicas evidenciaram aumento das chuvas e redução das temperaturas entre abril e agosto. Já os eventos ENOS apontaram possíveis influências climáticas sazonais, na semeadura e na colheita. O balanço hídrico demonstrou maior disponibilidade hídrica entre abril e agosto. Diante disso, este

trabalho destaca a importância da integração entre a produção agrícola e o monitoramento de eventos climáticos extremos.
Palavras-chave: La Niña. Zoneamento agrícola. Janela de plantio.

Abstract: The SEALBA region stands out as a new frontier with high agricultural potential in the Brazilian Northeast. In this context, this study analyzed the five largest corn-producing municipalities in the region, considering production and average yield data from 2003 to 2022, as well as their relationship with climatic events. Data were obtained from IBGE and aligned with the climate risk zoning provided by MAPA. Pearson correlation analysis was performed between corn production, yield, and precipitation using the coefficient of determination (R^2). Climatological normals (1992–2022) and the occurrence of El Niño–Southern Oscillation (ENSO) phenomena were also analyzed, based on data from NOAA and CPTEC, during planting/cultivation and harvest periods. The Köppen climate classification was used to characterize the municipalities' climate, and the water balance was used to assess soil water availability. Correlations between corn production and yield were strong, between production and precipitation, less significant. The climatological normals revealed increased rainfall and decreased temperatures between April and August. ENSO events indicated possible seasonal climatic influences on sowing and harvesting. The water balance showed greater water availability between April and August. Therefore, this study highlights the importance of integrating agricultural production with the monitoring of extreme climate events.
Keywords: La Niña. Agricultural zoning. Planting season.

Resumen: La región del SEALBA se destaca como una nueva frontera con alto potencial agrícola en el noreste de Brasil. En este contexto, el presente estudio analizó los cinco principales municipios productores de maíz de la región, considerando los datos de producción y rendimiento promedio entre 2003 y 2022, así como su relación con los eventos climáticos. Los datos fueron obtenidos del IBGE y alineados con el zonificación de riesgo climático del MAPA. Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la producción de maíz, el rendimiento y la precipitación, mediante el coeficiente de determinación (R^2). También se analizaron las normales climatológicas (1992–2022) y la ocurrencia de los fenómenos El Niño–Oscilación del Sur (ENOS), con base en datos de la NOAA y el CPTEC, durante los períodos de siembra/cultivo y cosecha. Se utilizó la clasificación climática de Köppen para caracterizar el clima de los municipios, y el balance hídrico para evaluar la disponibilidad de agua en el suelo. Las correlaciones entre producción y rendimiento de maíz fueron fuertes; entre producción y precipitación, menos significativas. Las normales climatológicas revelaron un aumento de las lluvias y una disminución de las temperaturas entre abril y agosto. Los eventos ENOS indicaron posibles influencias climáticas estacionales en la siembra y la cosecha. El balance hídrico mostró una mayor disponibilidad de agua entre abril y agosto. Por lo tanto, este estudio destaca la importancia de integrar la producción agrícola con el monitoreo de eventos climáticos extremos.
Palabras clave: La Niña. Zonificación agrícola. Época de siembra.

Submetido em: 06/09/2024
Aceito para publicação em: 08/05/2025
Publicado em: 07/06/2025

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio desempenha um papel fundamental na economia brasileira, contribuindo de maneira significativa para o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Esse setor abrange diversas áreas da cadeia produtiva, como a produção agrícola, a agroindústria, a logística e as exportações. Em 2023, o PIB da agropecuária cresceu 15,1%, quando comparado a 2022, registrando o maior resultado da série histórica (IBGE, 2023).

Neste contexto, o milho é uma das principais commodities agrícolas do país, tendo contribuído para o crescimento do setor, visto que o Brasil é um dos principais produtores do mundo e o líder mundial em exportações de milho, após ultrapassar os Estados Unidos, na safra 2022/2023 (Gottems, 2023). Nessa safra, a produção de milho atingiu um recorde de aproximadamente 322,8 milhões de toneladas, sendo 50,1 milhões de toneladas colhidas a mais sobre a temporada anterior, o que equivale a um aumento de 18,4% (CONAB, 2023).

Esse resultado está relacionado ao aumento da área plantada, cerca de 78,5 milhões de hectares, e o aumento da produtividade média registrada, saindo de 3 $t.ha^{-1}$, safra 2021/2022, para 4 $t.ha^{-1}$, safra 2022/2023 (CONAB, 2023). Esses fatores são impulsionados pelo desenvolvimento de inovações tecnológicas no campo e o surgimento de novas fronteiras agrícolas, como o MATOPIBA, formada por parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e mais recentemente, última década, o SEALBA, acrônimo formado pelas siglas dos estados de Sergipe, Alagoas e Bahia, localizada no Nordeste brasileiro (Silva *et al*., 2022).

A região SEALBA destaca-se por suas características distintas para a produção agrícola de grãos, principalmente a época do período chuvoso. A chuva, nesta parte do país, ocorre predominantemente no outono-inverno, em contraste com as demais regiões produtoras de grãos do Brasil, onde o período chuvoso é mais concentrado na primavera-verão. Dentre os benefícios, pode-se destacar a colheita em época diferenciada das demais regiões do país, o que possibilita a obtenção de melhores preços durante a comercialização dos grãos, visto que a oferta está mais escassa no mercado nacional, durante a colheita no SEALBA (Procópio et al., 2019).

Por conseguinte, a produção agrícola desta região está intrinsecamente ligada às condições climáticas, como precipitação, temperatura, umidade relativa, entre outras, visto

que são bastante instáveis (Silva *et al*., 2022). Dentre os fatores climáticos, a chuva é uma das variáveis mais críticas para as lavouras do SEALBA. Isso deve-se ao fato da janela de plantio se iniciar no último decêndio de março (21° a 30° dia). Porém, é no primeiro decêndio de abril que há um aumento das chuvas, com probabilidade de sucesso 70%, passando para 80% a partir do segundo decêndio desse mesmo mês, tendo um período chuvoso até meados de agosto (Procopio *et al*., 2019).

A quantidade, distribuição e regularidade das chuvas durante o desenvolvimento do milho, desempenham um papel crucial na determinação da produtividade (Agovino, 2019). Dentre os eventos climáticos que mais impactam na distribuição da chuva, o El Niño-Oscilação Sul, frequentemente abreviado como ENOS, é considerado dos eventos climáticos mais significativos e impactantes em escala global (Cai *et al*., 2021). Ele se origina na região do Oceano Pacífico e tem um impacto profundo em padrões climáticos em todo o mundo, inclusive no Brasil (Carvalho, 2020).

Esse fenômeno é caracterizado por variações periódicas nas temperaturas da superfície do mar e na pressão atmosférica nas regiões equatoriais do Pacífico (Cai *et al*., 2021). O ENOS apresenta dois estados distintos, que são conhecidos como El Niño e La Niña. No Brasil, o El Niño é frequentemente associado a períodos de aumento de chuvas, temperaturas mais elevadas e eventos climáticos extremos, como enchentes, na região Sul e Sudeste do país, e secas no Norte e Nordeste. Em contraste, La Niña pode resultar em padrões climáticos opostos ao El Niño, como aumento das chuvas nas regiões Norte e Nordeste e estiagens no Sul e Sudeste (Carvalho, 2020).

Diante disso, apesar da crescente importância agrícola do SEALBA, observa-se uma escassez de estudos que abordem de forma integrada e em séries históricas longas a relação entre os eventos climáticos extremos, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), e os indicadores de produção agrícola, como a produtividade e a precipitação, em escala municipal. A maior parte das pesquisas relacionadas ao impacto do ENOS sobre a produção de milho concentra-se em regiões tradicionais, como o Centro-Oeste e o Sul do país, negligenciando as especificidades climáticas e produtivas do Nordeste. Dessa forma, este trabalho busca preencher essa lacuna ao analisar os efeitos do ENOS sobre a produção de milho grão nos principais municípios produtores da região do SEALBA, entre os anos de 2003 e 2022,

contribuindo para o entendimento das interações entre clima e agricultura em uma região emergente para o cultivo de grãos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A produção de milho grão no Brasil: evolução das safras e a nova fronteira agrícola, SEALBA

O milho é uma *commodity* de ampla aplicação e assume uma posição de destaque na produção agrícola mundial. A produção desse grão está intrinsecamente ligada a climas mais quentes, sendo tipicamente associada às estações de primavera e verão. No entanto, vale notar que em países como o Brasil e o México, por exemplo, condições climáticas favoráveis estendem a janela de produção até mesmo durante o inverno, destacando a adaptabilidade dessa cultura (Pinheiro, 2021).

A produção global de milho é um fenômeno disseminado, com inúmeros países contribuindo para a oferta global. No entanto, a maior parte da produção mundial ainda permanece concentrada em dois países, Estados Unidos (EUA) e China, sendo líderes incontestáveis, responsáveis por mais de 50% da produção total. Essas duas potências agrícolas não apenas garantem a abundância do grão, mas também exercem um impacto significativo nos mercados globais, moldando preços e padrões de comércio (Coêlho, 2021).

Neste contexto, o Brasil, terceiro maior produtor de milho do mundo, destaca-se como o único país entre os grandes produtores capaz de produzir até três safras de milho por ano, conforme calendário agrícola registrado pelo monitoramento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (CONAB, 2022). Com a evolução da segunda safra do milho, este cultivo se converteu em uma das maiores produções agrícola do país, com uma área plantada de 22,3 milhões de hectares, safra 2022/2023 (CONAB, 2023).

Esse crescimento gradativo da produção de milho, ao longo dos anos, ganhou maior relevância a partir dos anos 2000, derivado de diversos fatores, tais como a abertura do Brasil aos mercados internacionais, a ampliação da produção para atender a demanda para a produção alimentar e de biocombustíveis, a demanda chinesa, a apreciação da taxa de câmbio brasileira e a implementação de novas tecnologias produtivas que permitiram a expansão da produção para o cerrado (Pinheiro, 2021). Além disso, o aumento da produção interna

também está vinculado a reconfiguração do sistema de produção no Brasil, onde a segunda safra adquiriu maior relevância em comparação com a primeira (Alves; Sanches; Barros, 2019).

O cultivo do milho é realizado, tradicionalmente, em duas épocas: a primeira safra (verão) em sucessão com a soja, no sistema de interculturas com 4,4 milhões de hectares, e a segunda safra (safrinha), ao fim da colheita da soja, com 17,2 milhões de hectares, sendo a safrinha o principal período de produção, onde se destaca a região Centro-Oeste (CO), com área produtiva de 11,4 milhões de hectares na safrinha e 2,6 na primeira safra, ano 2022/2023. Desde o ano agrícola de 2018/19, a CONAB tem registrado a terceira safra do milho (Tabela 1), essa ainda incipiente, correspondeu a uma área plantada de 0,6 milhão de hectares na safra 2022/2023 (CONAB, 2022).

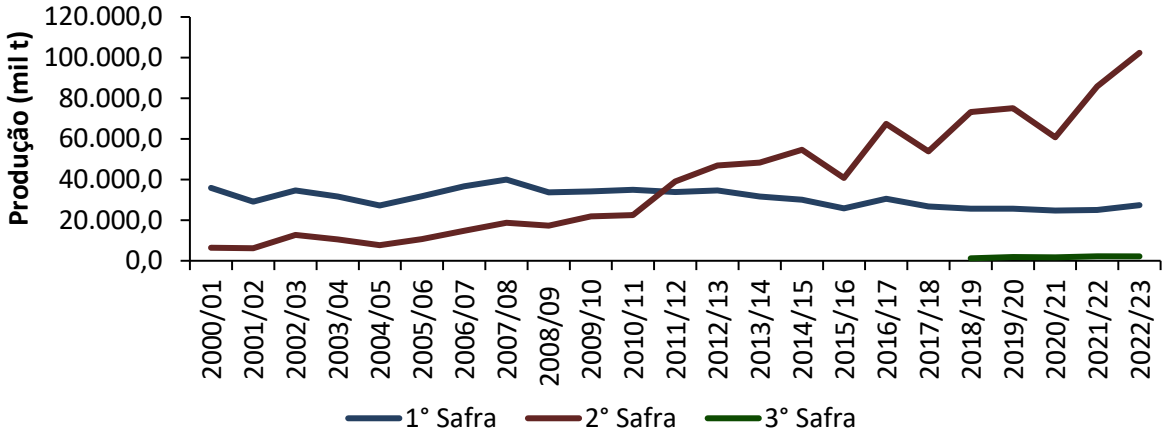
Tabela 1: Calendário agrícola das safras de milho (1ª, 2ª e 3ª) no Brasil.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1ª Safra		Colheita							Plantio			
2ª Safra	Plantio					Colheita						
3ª Safra				Plantio						Colheita		

Fonte: CONAB (2022)

A produção em terceira safra é semeada nas regiões Norte e Nordeste. A semeadura ocorre nos estados de Alagoas, Bahia (nordeste baiano), Pernambuco (PE), Sergipe (SE), Amapá (AP) e Roraima (RR), coincidindo com o período de plantio do hemisfério Norte (Tabela 1). Entre os anos agrícolas de 2018/19 e 2022/23, o milho produzido em 3ª safra apresentou crescimento de 55,2% na sua produção (mil toneladas), saindo de 1.218,7 para 2.207,7 mil toneladas (Figura 1), ampliando assim, a oferta nacional desta *commodity*.

Figura 1: Produção de milho grão nas três safras anuais no Brasil (mil toneladas), entre as safras 2018/19 e 2022/23.

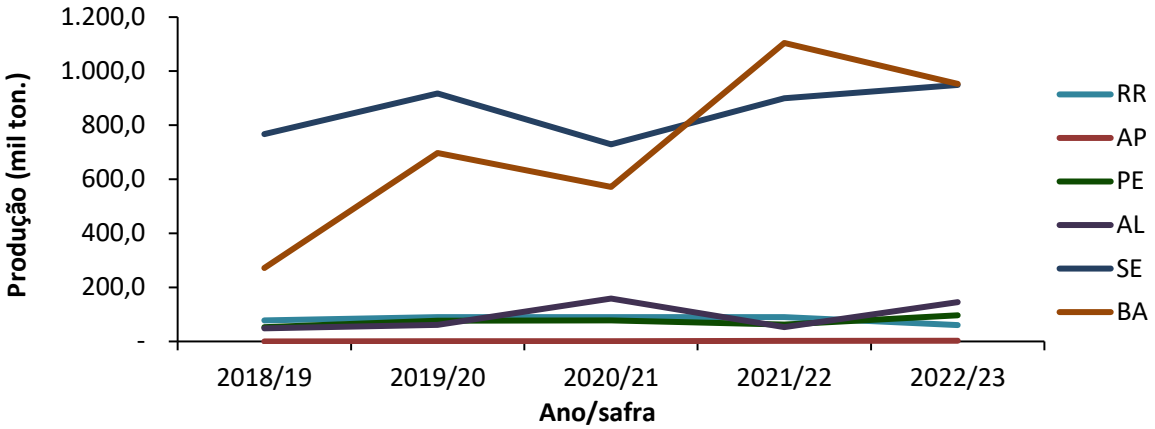


Fonte: CONAB (2023)

Além disso, nota-se que a segunda safra apresentou um crescimento médio anual superior à primeira safra, após o ano agrícola de 2010/11 (Figura 1). As regiões Nordeste (NE), Sudeste (SE) e Sul (S), concentram boa parte da produção da primeira safra, enquanto a região CO concentra maior parte da produção da segunda safra. Logo, percebe-se que há no cultivo da segunda safra uma expressiva concentração regional da produção, onde a região CO concentra praticamente toda a produção, seguida do estado Paraná (PR), na região S.

Em relação a produção da terceira safra, Figura 2, nota-se que os valores estão concentrados, principalmente nos estados da Bahia e Sergipe, os quais são responsáveis por mais de 90% da produção de milho dessa safra. Observa-se ainda, que os estados que compõem a região do SEALBA, apresentam o maior crescimento na produção do grão, indicando alto potencial agrícola para os anos subsequentes.

Figura 2: Produção de milho grão (t) nos estados que compõem a 3ª safra, com destaque para a região do SEALBA.



Fonte: CONAB (2023)

Essa região é composta por uma faixa contínua e interligada, a qual abrange 171 municípios, sendo que 33,2% da área está localizada em Sergipe (1.707.815 ha), 36,1% em Alagoas (1.859.438 ha) e 30,7% na Bahia (1.581.688 ha), totalizando 5.148.941 ha (Procópio *et al*., 2019). A identificação desse complexo produtivo ocorreu por meio de critérios específicos, quanto à aptidão agrícola, a precipitação em volumes superiores a 450 mm, entre os meses de abril a setembro, em pelo menos 50% da área total no município. Esse índice pluviométrico é considerado suficiente para viabilizar o cultivo de diversas culturas de grãos, inclusive o milho, permitindo o cultivo da terceira safra. Essa constatação sugere que o componente de produção de grãos na região apresenta um notável potencial para a expansão agrícola no SEALBA (Procopio *et al*., 2019).

3. METODOLOGIA

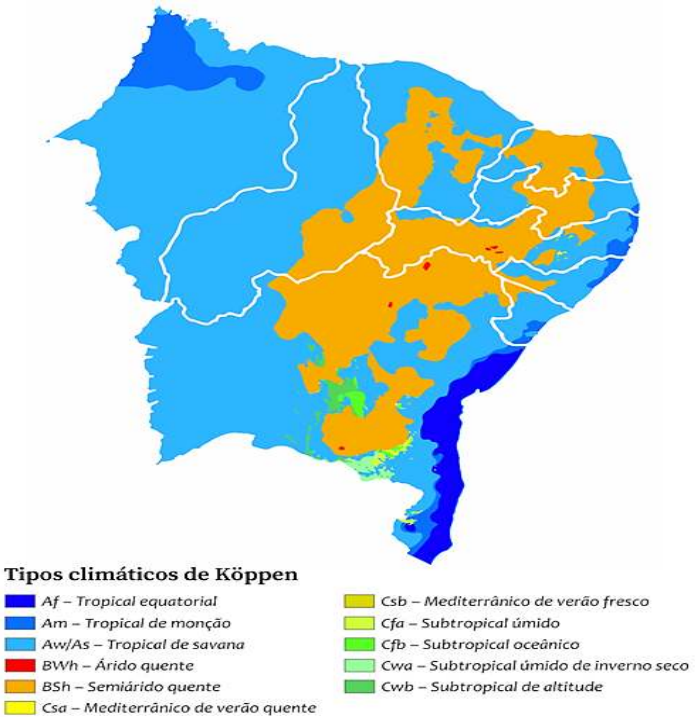
Para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionados os 5 maiores municípios produtores de milho grão, da região do SEALBA, observando sua produção média (t) e produtividade ($kg.ha^{-1}$), com base na série histórica extraída do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), entre os anos de 2003 a 2022, desconsiderando a variedade (IBGE, 2023). Os municípios que compõem essa região apresentam apenas um cultivo anual (abril a agosto), desta forma os dados antes da denominação 3° safra, feita pela CONAB em 2018, a qual refere-se apenas ao período produtivo no calendário agrícola, foram considerados dentro dessa safra, visto que há uma única safra anual.

Devido a limitação de cobertura de estações meteorológica de superfície na maior parte do Brasil, inclusive na região nordeste, e ocorrência de períodos não homogêneos, os dados meteorológicos de chuva entre os anos de 1992 e 2022, foram coletados na plataforma *National Aeronautics and Space Administration/Prediction of World Wide Energy Resources* (NASA/POWER). Essa plataforma tem grids com resolução espacial de 0.25° (latitude-longitude), sendo responsável pela coleta de dados meteorológicos de todo planeta (Stackhouse *et al*., 2018). Foi utilizada a linguagem de programação *Python* com uso de API para a coleta dos dados (Sparks, 2018).

A partir do banco de dados foi realizada a análise de correlação de *Pearson* dos valores de produção de milho com produtividade e com acumulado de chuva no período de zoneamento agrícola para a cultura do milho nos municípios selecionados (abril a agosto) pelo coeficiente de determinação R^2, método dos quadrados mínimos (Willmott *et al*., 1985), realizado com auxílio do *software Microsoft Excel® 365*. Com base nos dados climáticos de precipitação, temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima foram elaboradas as normais climatológicas dos municípios, nos últimos 30 anos (1992 a 2022).

As informações sobre a ocorrência dos ENOS foram obtidas, por meio dos dados disponibilizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2022) e sua intensidade pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2022), para os meses de abril a agosto (plantio/cultivo) e setembro a dezembro (colheita). Para a caracterização do clima dos municípios selecionados foram utilizados os critérios da classificação climática de Köppen (Alvares *et al*., 2013) (Figura 3).

Figura 3. Classificação climática de Köppen para o Nordeste do Brasil.



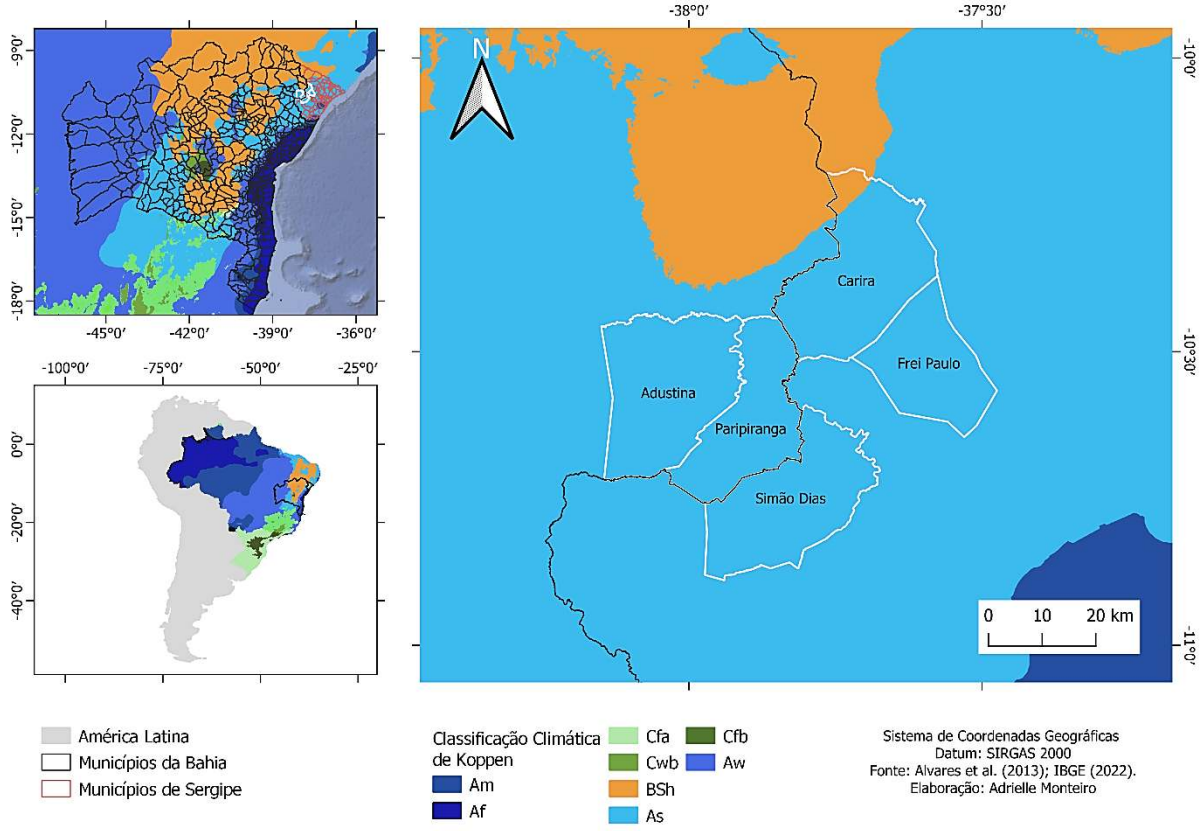
Fonte: Alvares et al. (2013)

O balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Mather (1961) foi realizado utilizando tabela dinâmica no *software Microsoft Excel® 365*. A determinação da Evapotranspiração Potencial (ETP) pelo método de Camargo (1960). Foi utilizada uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm, geralmente adotada para cultura anuais como o milho (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a série histórica de produção média (t) e produtividade (kg ha^{-1}), extraída do IBGE (2023), os 5 maiores municípios produtores de milho (grão) da região do SEALBA foram: Adustina - BA , Paripiranga - BA, Simão Dias - SE, Carira - SE e Frei Paulo - SE, respectivamente. Conforme a Figura 4, a classificação climática, segundo os critérios de Köppen, os 5 maiores produtores do grão estão majoritariamente localizados na região climática "As" (tropical quente e úmido) (Alvares *et al*., 2013).

Figura 4. Localização dos cinco principais municípios produtores de milho grão do SEALBA sobrepostos ao mapa climático de Köppen.

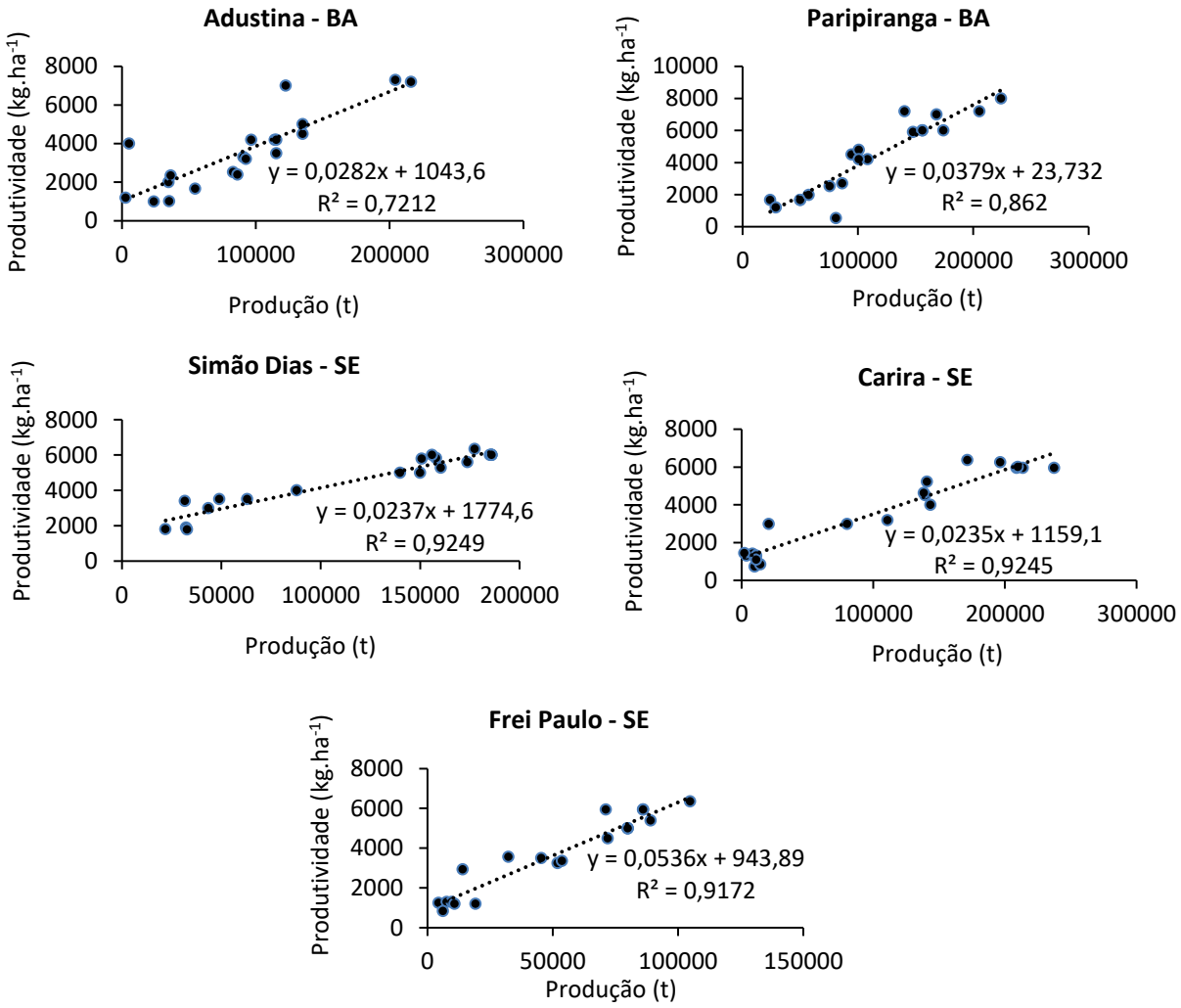


Fonte: Alvares et al. (2014); IBGE (2022)

O tipo climático denominado por clima tropical quente e úmido, com estação seca no inverno representado pela terminologia “As”, predomina no litoral oriental do Nordeste, que vai do Leste da Microrregião de Paulo Afonso - BA e se estende pela faixa costeira de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e partes do Rio Grande do Norte. Dentre suas características, destaca-se a ausência de chuvas de verão, que ocorre no período do inverno. Nessa estação está concentrado o maior volume de chuvas, com índices pluviométricos por volta de 1.600 mm anuais (Mendonça; Danni-Oliveira, 2017).

Diante dos valores de correlação entre produtividade ($kg.ha^{-1}$) e produção (t) de milho dos municípios de Adustina - BA, Paripiranga - BA, Carira - SE, Frei Paulo - SE e Simão Dias - SE, 0.72, 0.86, 0.92, 0.92 e 0.93, respectivamente, nota-se haver uma forte correlação positiva entre produção e produtividade de milho, em todos os municípios (Figura 5).

Figura 5: Correlação entre produtividade (kg.ha^{-1}) e produção de milho (t) nos cinco principais municípios do SEALBA (2003–2022).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

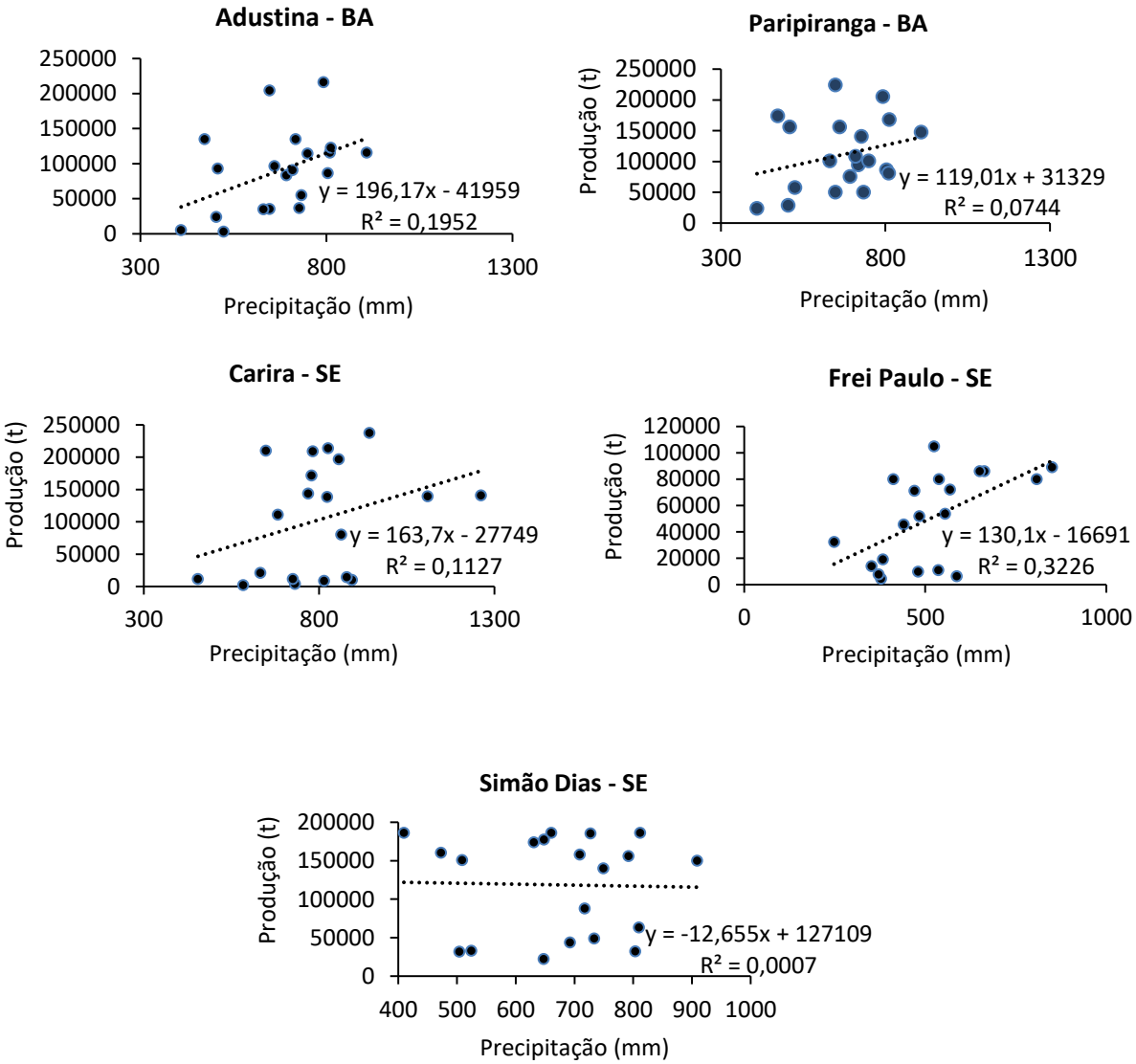
Os valores da correlação indicam o grau e a direção da relação entre produção e produtividade de milho em cada município. Conforme Ratner (2009), uma correlação de 1 indica uma correlação positiva perfeita, na qual o aumento na produção de grãos está diretamente associado ao aumento da produtividade. Por outro lado, uma correlação de -1 indica uma correlação negativa perfeita, em que o aumento na produção está inversamente associado à produtividade do milho. Um valor de correlação próximo a 0 indica que não há relação linear entre as duas variáveis.

Isso sugere que, à medida que a produção de milho aumenta em um município, a produtividade também tende a aumentar. Essa informação é de grande importância para os agricultores, pois indica uma relação de eficiência na produção, sendo possível utilizá-la para

o planejamento agrícola local, visto que sugere que melhorias na produtividade podem levar a aumentos significativos na produção de milho, reduzindo a necessidade de exploração de novas áreas, o que pode impactar positivamente a economia da região, na segurança alimentar e na sustentabilidade agrícola (Wang; Xiangdong, 2021).

Além disso, é importante observar que as variações nos valores de correlação entre os municípios podem ser atribuídas a fatores locais, como relevo, tipos de solo e práticas agrícolas predominantes (Wang; Xiangdong, 2021). Compreender essas diferenças é crucial para fornecer *insights* valiosos para adaptar estratégias de melhoria específicas para cada localidade. Em contrapartida aos valores de correlação entre produtividade ($kg.ha^{-1}$) e produção (t) de milho dos cinco municípios avaliados, as correlações entre produção (t) e precipitação (mm) são consideradas fracas, variando entre 0,01 e 0,32 (Figura 6) (Bussab; Morettin, 2017).

Figura 6: Correlação entre produção de milho (t) e precipitação (mm) nos cinco principais municípios do SEALBA (2003–2022).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com base nos resultados, nota-se que há variabilidade na força e direção das correlações entre a produção de milho e a precipitação nos diferentes municípios. Enquanto alguns municípios apresentaram correlações próximas de 0,00 (Simão Dias e Paripiranga), outros apresentaram valores maiores (Adustina, Carira e Frei Paulo), apesar de ainda serem considerados fracos (Bussab; Morettin, 2017).

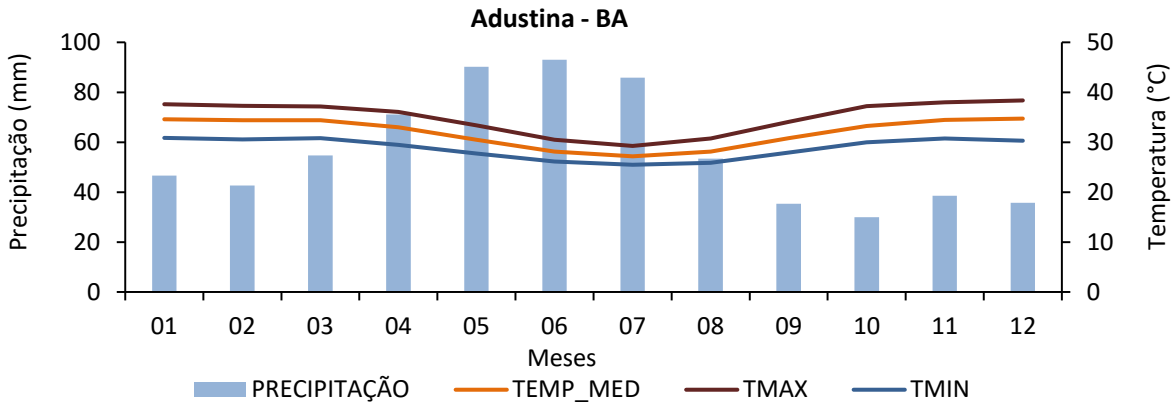
Essa heterogeneidade nas relações entre a produção de milho e a precipitação destaca a complexidade dos fatores que influenciam a produtividade agrícola em diferentes contextos ambientais. Um dos fatores que podem explicar os valores baixos de correlação entre a

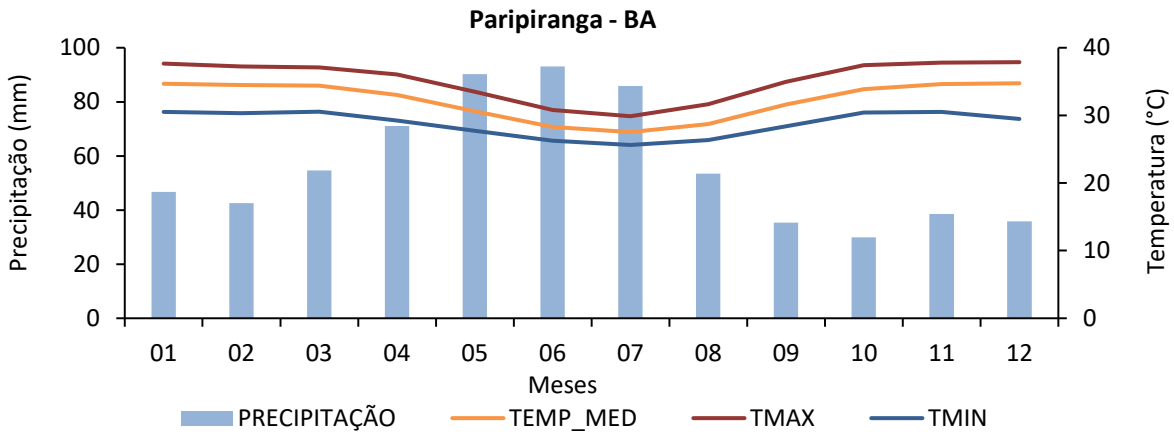
produção de milho e a precipitação é a adoção crescente de novas tecnologias e práticas agrícolas que permitem aos agricultores mitigar os efeitos das variações climáticas, como a adoção de cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico (Huang *et al*., 2015).

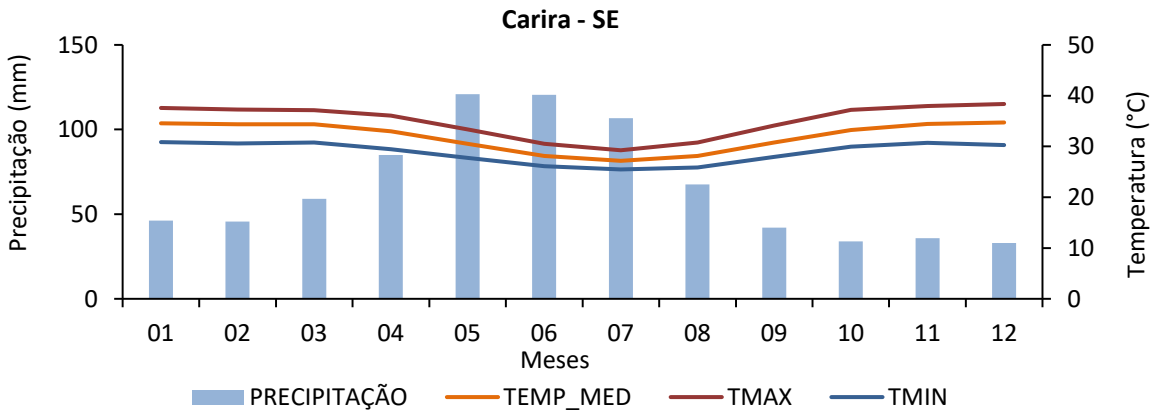
Essas tecnologias permitem uma produção mais estável e previsível de milho, independentemente das flutuações na precipitação, reduzindo assim a correlação entre essas variáveis em determinadas regiões. Além disso, o aumento significativo na produção ao longo do tempo devido à adoção dessas tecnologias, as melhorias na gestão e as inovações na pesquisa agrícola, podem ter sido mais influentes do que as variações na precipitação para determinação da produção de milho nos municípios analisados. No entanto, é notório que a quantidade de água disponível para os vegetais é um fator limitante para o desenvolvimento, principalmente em culturas de sequeiro (Santos *et al*, 2022).

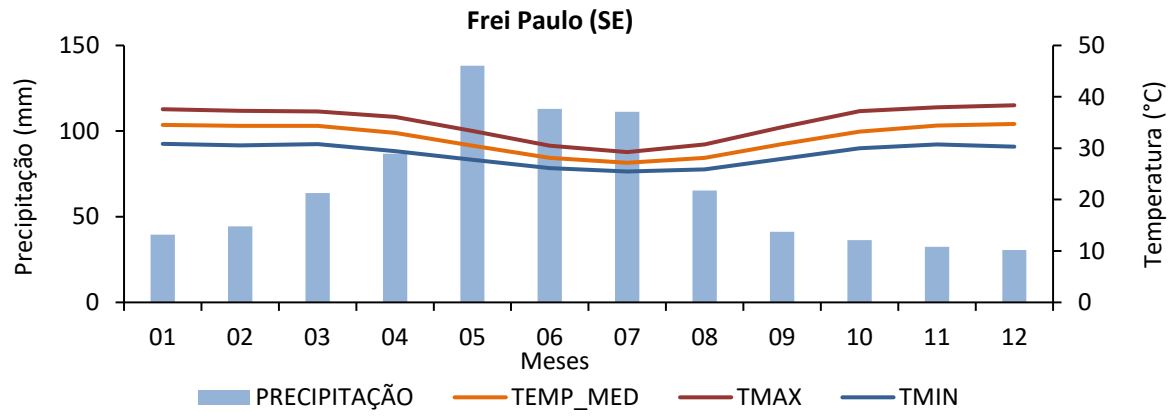
Mediante análise dos dados das normais climatológicas de precipitação, temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima dos cinco municípios, entre os anos de 1992 e 2022, nota-se que o período chuvoso predomina entre os meses de abril e agosto, com redução da temperatura média (Figura 7).

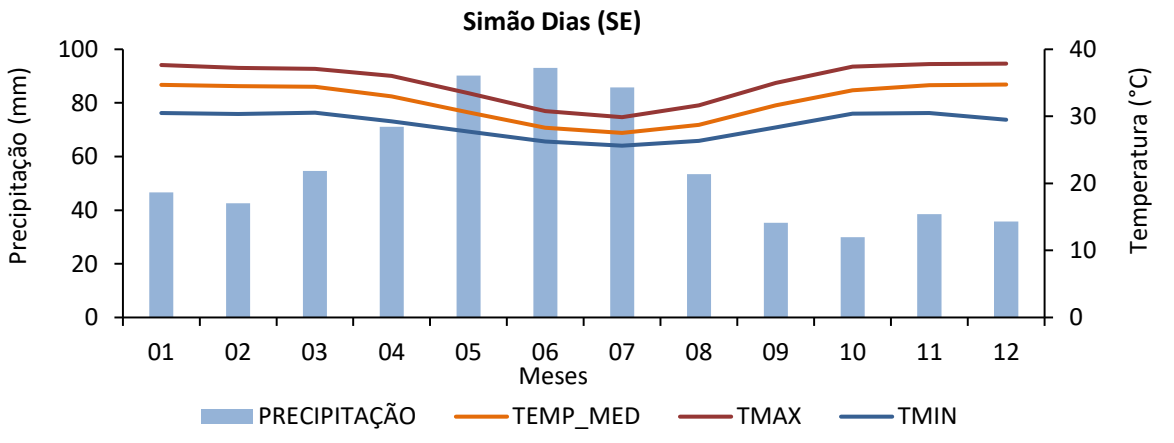
Figura 7. Normais climatológicas (1992–2022) de precipitação (mm) e temperatura média, máxima e mínima (°C), nos cinco principais municípios produtores de milho do SEALBA.











Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A normal climatológica é uma média estatística de dados meteorológicos coletados ao longo de um período específico, geralmente 30 anos, que é considerado representativo das condições climáticas de uma determinada região. Essa média é usada como referência para análise e comparação de dados meteorológicos atuais e passados, permitindo uma melhor compreensão das variações climáticas e das tendências ao longo do tempo (Diniz; Medeiros; Cunha, 2014).

O tipo climático AS, no qual esses municípios estão inseridos, representa uma região de clima tropical sazonal, caracterizada por duas estações distintas: uma estação chuvosa e uma estação seca. A estação chuvosa ocorre geralmente entre os meses de abril a julho, coincidindo com os meses de outono e inverno. Durante esse período, há um aumento significativo na quantidade de precipitação, com a ocorrência de chuvas intensas e regulares (Francisco *et al*., 2015).

Essas chuvas são essenciais para reabastecer os reservatórios de água e garantir a umidade do solo para o plantio das culturas agrícolas, principalmente as de sequeiro, como o milho. Em relação a estação seca, ocorre geralmente entre os meses de agosto a março, coincidindo com os meses de primavera e verão. Nessa estação, a precipitação diminui significativamente, e podem ocorrer períodos prolongados de estiagem. Essa falta de chuva representa um desafio para a agricultura, especialmente para as culturas que dependem de chuvas regulares para seu desenvolvimento, visto que não são irrigadas (Coêlho, 2021; Francisco *et al*., 2015).

A partir da análise dos eventos de La Niña e El Niño entre 2003 e 2022, nota-se que durante o período de cultivo do milho no SEALBA, abril a agosto, tais eventos não foram tão recorrentes ao longo dos 20 anos e a sua intensidade foi fraca (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de milho em toneladas (PD), diferença entre a produção de milho entre os anos (Dif. PD), produtividade de milho em kg.ha^{-1} (PV), diferença entra a produtividade de milho entre anos (Dif. PV), Oceanic Niño Index (ONI) nos meses de cultivo (CV) (abril a agosto), evento e intensidade, nos cinco principais municípios do SEALBA (2003–2022).

Ano	PD (t)	Dif. PD	PV (kg.ha^{-1})	Dif. PV	ONI CV (Abr - Ago)	Evento	Intensidade
2003	23112		1404,4		0,2	Neutro	
2004	34006	10894	1905,6	501,2	0,3	Neutro	
2005	44664	10658	2128	222,4	-0,03	Neutro	
2006	44296	-368	1712	-416	-0,2	Neutro	
2007	56940	12644	1916	204	-0,6	La Niña	Fraco
2008	119573,6	62633,6	4976	3060	0,03	Neutro	
2009	131002	11428,4	5176	200	-0,06	Neutro	
2010	147371	16369	5397	221	-0,63	La Niña	Fraco
2011	109264,2	-38106,8	4162	-1235	-0,2	Neutro	
2012	51805,2	-57459	3261,6	-900,4	-0,1	Neutro	
2013	150612	98806,8	6248	2986,4	0,03	Neutro	
2014	119920	-30692	4561	-1687	0,77	El Niño	Fraco
2015	126471,6	6551,6	4540	-21	0,6	El Niño	Fraco
2016	26608,4	-99863,2	1826	-2714	0,07	Neutro	
2017	116303	89694,6	5010	3184	-0,03	Neutro	
2018	20124	-96179	1996	-3014	0,37	Neutro	
2019	129840	109716	5064	3068	-0,03	Neutro	
2020	176493,6	46653,6	6871,2	1807,2	-0,43	Neutro	
2021	106710	-69783,6	4266	-2605,2	-0,77	La Niña	Fraco
2022	161448	54738	6204	1938	0,17	Neutro	

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

No entanto, durante o período de colheita do milho na região, setembro a dezembro, foram bastante recorrentes ao longo dos 20 anos e a sua intensidade variou entre fraco, moderado e forte (Tabela 03).

Tabela 3. Produção de milho em toneladas (PD), diferença entre a produção de milho entre os anos (Dif. PD), produtividade de milho em kg.ha^{-1} (PV), diferença entra a produtividade de milho entre anos (Dif. PV), Oceanic Niño Index (ONI) nos meses de colheita (CO) (setembro a dezembro), evento e intensidade, nos cinco principais municípios do SEALBA (2003–2022).

Ano	PD (t)	Dif. PD	PV (kg.ha^{-1})	Dif. PV	ONI CO (Set- Dez)	Evento	Intensidade
2003	23112		1404,4		0,35	Neutro	
2004	34006	10894	1905,6	501,2	0,7	El Niño	Fraco
2005	44664	10658	2128	222,4	-0,45	La Niña	Fraco
2006	44296	-368	1712	-416	0,8	El Niño	Fraco
2007	56940	12644	1916	204	-1,45	La Niña	Forte
2008	119573,6	62633,6	4976	3060	-0,5	La Niña	Fraco
2009	131002	11428,4	5176	200	1,15	El Niño	Moderado
2010	147371	16369	5397	221	-1,7	La Niña	Forte
2011	109264,2	-38106,8	4162	-1235	-1,1	La Niña	Moderado
2012	51805,2	-57459	3261,6	-900,4	0,1	Neutro	
2013	150612	98806,8	6248	2986,4	-0,2	Neutro	
2014	119920	-30692	4561	-1687	0,5	El Niño	Fraco
2015	126471,6	6551,6	4540	-21	2,5	El Niño	Muito forte
2016	26608,4	-99863,2	1826	-2714	-0,7	La Niña	Fraco
2017	116303	89694,6	5010	3184	-0,75	La Niña	Fraco
2018	20124	-96179	1996	-3014	0,85	El Niño	Fraco
2019	129840	109716	5064	3068	0,45	El Niño	Fraco
2020	176493,6	46653,6	6871,2	1807,2	-1,25	La Niña	Moderado
2021	106710	-69783,6	4266	-2605,2	-0,9	La Niña	Fraco
2022	161448	54738	6204	1938	-0,95	La Niña	Moderado

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os valores da diferença entre a produção e produtividade de milho entre os anos (Dif. PD), apresentam alta variabilidade entre os períodos de crescimento e baixa. Como destacado em discussões anteriores, a atividade agrícola é bastante influenciada por fatores ambientais. Nesse caso, os fenômenos climáticos El Niño e La Niña exercem influências significativas na

produção de milho na região nordeste do Brasil, afetando o clima e as condições de cultivo de maneiras distintas (Carvalho, 2020).

Durante o El Niño, a região nordeste geralmente enfrenta uma redução nas chuvas e um aumento nas temperaturas. Isso resulta em períodos de seca prolongados e estresse hídrico nas lavouras de milho (Carvalho, 2020). A escassez de água compromete o desenvolvimento das plantas, reduzindo a produtividade e a qualidade dos grãos. Além disso, as altas temperaturas podem causar queimaduras nas folhas e diminuição na fotossíntese, afetando ainda mais a produção de milho (Santos *et al*., 2022).

Por outro lado, La Niña, provoca um aumento nas chuvas e temperaturas mais amenas (Carvalho, 2020). Embora isso possa inicialmente parecer benéfico para a produção de milho, chuvas excessivas podem resultar em enchentes e inundações, prejudicando o plantio e o desenvolvimento das plantas. O excesso de umidade também favorece a proliferação de doenças fúngicas e bacterianas, que podem afetar negativamente a produtividade e a qualidade dos grãos de milho (Yan *et al*., 2021).

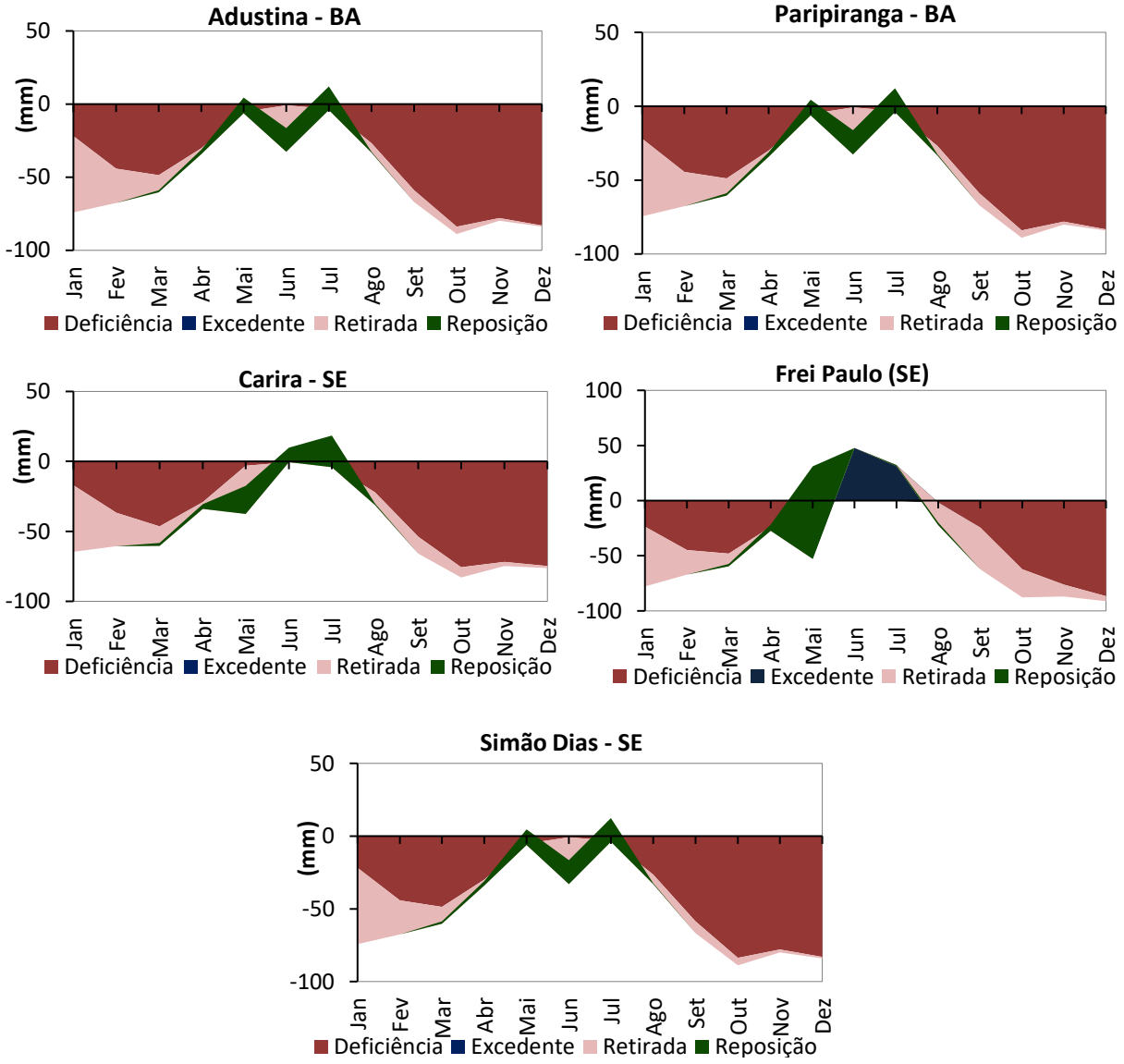
As chuvas durante a colheita do milho representam um desafio significativo para os agricultores, podendo causar atrasos, perda de qualidade e redução do rendimento da safra. Quando as precipitações ocorrem no momento em que os agricultores estão prontos para colher o milho maduro, o solo úmido pode dificultar ou até mesmo impedir o acesso das máquinas agrícolas aos campos. Isso resulta em atrasos na colheita, afetando os prazos de entrega e a disponibilidade do milho no mercado (Oliveira *et al*., 2014).

Além dos atrasos, as chuvas durante a colheita também aumentam o risco de perda de qualidade dos grãos. A umidade excessiva pode levar à deterioração dos grãos, ao desenvolvimento de mofo e ao surgimento de micotoxinas, substâncias prejudiciais à saúde humana e animal. Grãos danificados ou contaminados podem ser rejeitados pelos compradores ou ter seu valor de mercado significativamente reduzido, impactando os lucros dos agricultores (Rashid; Rosentrater, 2015).

Outro impacto das chuvas durante a colheita é a perda de rendimento. As plantas de milho podem ser derrubadas pelo vento ou ficar mais propensas à quebra devido ao peso da água nos grãos, resultando em perdas significativas (Yan *et al*., 2021). Além disso, a umidade excessiva do solo pode dificultar a operação das máquinas colheitadeiras, levando a uma colheita menos eficiente e a perdas adicionais (Oliveira *et al*., 2014).

Em concordância com o período chuvoso na região, o balanço hídrico revela que neste momento há uma leve reposição da água no solo, sendo que o único município a ter um valor excedente é Frei Paulo (Figura 8). Isso deve-se ao fato desse município estar mais próximo da região litorânea, localizado geograficamente no território do Agreste Central Sergipano, onde há um maior volume de chuvas, devido a influência da Massa Tropical Atlântica (mTa) (Diniz; Medeiros; Cunha, 2014). No entanto, é importante salientar que todos os municípios apresentam déficit hídrico na maior parte dos meses do ano.

Figura 8. Balanço hídrico climatológico (1992–2022) dos cinco principais municípios produtores de milho do SEALBA.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O balanço hídrico é uma ferramenta crucial para avaliar a disponibilidade e distribuição da água em uma região ao longo do tempo, compreendendo todos os componentes do ciclo hidrológico, desde a entrada de água por precipitação até a saída por meio da evapotranspiração e do escoamento superficial (Thornthwaite; Mather, 1961). Na produção de milho, o balanço hídrico é fundamental para garantir um suprimento adequado de água para as plantas durante todo o ciclo de crescimento. A água desempenha um papel vital na fotossíntese, transpiração e absorção de nutrientes, sendo essencial para o crescimento saudável das plantas e a formação de grãos (Santos *et al*., 2022).

Para otimizar o balanço hídrico e assegurar a sustentabilidade na produção de milho, é fundamental que os agricultores adotem estratégias eficientes de manejo da água. Dentre essas, destacam-se o uso de sistemas de irrigação adequados, o manejo do solo visando ao aumento da capacidade de retenção hídrica, a escolha de cultivares tolerantes à seca e o monitoramento contínuo das condições climáticas (Alves; Minuzzi; Caron, 2021). Além disso, práticas como o plantio direto, a definição adequada da época de semeadura e a adoção de sistemas produtivos adaptados ao estresse hídrico contribuem significativamente para aumentar a tolerância das plantas (Francisco et al., 2017).

Como pode ser observado, neste estudo, nenhum município do estado de Alagoas configura entre os 5 principais produtores e a sua produção (t) de grão de milho nos estados que compõem a 3ª safra, ainda é baixa em comparação aos estados de Bahia e Sergipe (Figura 2). Isso pode ser explicado por alguns fatores, dentre eles: o foco em culturas tradicionais, visto que Alagoas historicamente se destacou na produção de cana-de-açúcar, coco, frutas tropicais e outras culturas tradicionais, sendo assim, os agricultores podem preferir investir em culturas com as quais têm mais experiência e que oferecem um mercado mais estável e lucrativo. Além disso, a ausência de políticas governamentais e de incentivos financeiros direcionados à promoção do cultivo de milho no estado pode desencorajar o desenvolvimento dessa cultura, em detrimento de outras (Santana, 2022; Cuenca; Nazário; Mandarino, 2005).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu caracterizar os eventos climáticos dos principais municípios produtores de milho da região do SEALBA, Adustina (BA), Paripiranga (BA), Carira (SE), Frei

Paulo (SE) e Simão Dias (SE), entre os anos de 1992 e 2022. As normais climatológicas revelaram os padrões climáticos locais precipitação: entre os meses de abril e agosto, com temperaturas mais amenas nesse período, enquanto a análise dos fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) ofereceu informações adicionais sobre possíveis influências climáticas sazonais, na semeadura e colheita. O balanço hídrico revelou que a maior parte da água disponível usada no cultivo do milho encontra-se entre os meses de abril e agosto, período de maior intensidade das chuvas. Em relação a produção de milho, observou-se forte correlação com a produtividade, ao contrário da observada na precipitação, considerada fraca, devido a influência de outros fatores ligados ao contexto agrícola.

Essas informações contribuem para uma melhor compreensão dos padrões climáticos e sua relação com a produção de milho na região do SEALBA, fornecendo subsídios para agricultores e formuladores de políticas públicas no enfrentamento dos desafios climáticos relacionados à produção de milho.

REFERÊNCIAS

AGOVINO, M. *et al*. Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 525-543, 2019.

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, L. R. A.; SANCHES, A. L. R.; BARROS, G. S. C. de. A nova configuração no mercado de milho no Brasil e a dinâmica de formação de preços. **Agroalimentaria**, v. 25, n. 49, p. 65-105, 2019.

ALVES, M. P.; MINUZZI, R. B.; CARON, M. L. Identificação de estiagens e estimativas de produtividade de milho para o município de Campos Novos, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 101-117, 2021.

BUSSAB, W. de O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. Saraiva Educação SA. 2017.

CAI, W. *et al*. Changing El Niño–Southern oscillation in a warming climate. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 2, n. 9, p. 628-644, 2021.

CAMARGO, Â. P. de. **Balanço hídrico no estado de São Paulo**. IAC, 1960.

CARVALHO, A. L. de *et al*. Impacts of extreme climate events on Brazilian agricultural production. **Sustainability in Debate**, v. 11, n. 3, p. 197–224, 2020.

CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Monitoramento do El Niño durante DJF-2019**. 2019. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/. Acesso em: 25 jan. 2023.

COÊLHO, J. D. **Milho: produção e mercados**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2021. (Caderno Setorial Etene, ano 6, n. 182).

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de grãos**. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 25 jan. 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Calendário plantio e colheita JUN 2022**. Disponível em: https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/15406-calendario-agricola-plantio-e-colheita. Acesso em: 25 jan. 2024.

CUENCA, M. A. G.; NAZÁRIO, C. C.; MANDARINO, D. C. **Características e evolução da cultura do milho no Estado de Alagoas entre 1990 e 2003**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005.

DINIZ, M. T. M.; MEDEIROS, S. C. de; CUNHA, C. J. de. Sistemas atmosféricos atuantes e diversidade pluviométrica em Sergipe. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 1, p. 17-34, 2014.

FRANCISCO, P. R. M. *et al*. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1006-1016, 2015.

FRANCISCO, P. R. M. *et al*. Aptidão climática do milho (*Zea mays* L.) para o estado da Paraíba. **Revista de Geografia**, Recife, v. 34, n. 1, p. 290-305, 2017.

HUANG, C. *et al*. Influence of precipitation on maize yield in the Eastern United States. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5996-6010, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. **Produção Agrícola Municipal (PAM), 2022**. Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 10 out. 2023.

MATHER, J. R. **The climatic water balance**. CW Thornthwaite Associates, Laboratory of Climatology, 1961.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **PSR – Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural**. 2023a. Disponível em: https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/SISSER/SISSER.html. Acesso em: 01 out. 2023.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático - 2023**. Disponível em: https://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm Acesso em: 01 out. 2023.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. NOAA. 2022. Disponível em: https://www.noaa.gov. Acesso em: 23 de out. de 2023.

OLIVEIRA, T. *et al*. Perdas quantitativas na colheita mecanizada de milho safrinha na região norte de mato grosso. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 02, 2014.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Departamento de Ciências Exatas, p. 173, 2007.

PINHEIRO, L. da S. *et al*. Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021.

PROCOPIO, S. de O. *et al*. **Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro**. Aracaju: Embrapa, 2019.

RATNER, B. The correlation coefficient: Its values range between +1/−1, or do they?. **Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing**, v. 17, p. 139–142, 2009.

SANTANA, W. S. **Dinâmica temporal (2000–2020) da produção de milho em Pão de Açúcar, semiárido de Alagoas**. 2022. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2022.

SANTOS, G. O. *et al*. Disponibilidade hídrica e as anomalias climáticas no cultivo de soja e milho no Cerrado. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 10, n. 3, p. 214-222, 2022.

SILVA, E. H. de L. *et al*. Performance assessment of different precipitation databases (Gridded analyses and reanalyses) for the new Brazilian agricultural frontier: SEALBA. **Water**, v. 14, n. 9, p. 1473, 2022.

SPARKS, A. H.. Nasapower: a NASA POWER global meteorology, surface solar energy and climatology data client for R. **Journal of Open Source Software**, v. 3, n. 30, p. 1035, 2018.

STACKHOUSE, P. W. *et al*. POWER release 8.0. 1 (with GIS applications) methodology (data parameters, sources and validation). **Data Version**, v. 8, n. 1, 2018.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Agriculture improvement act of 2018: highlights and implications**. Washington: USDA, 2018a. Disponível em: <https://bit.ly/3NU3iSr>. Acesso em: 18 Jan. 2024.

WANG, J.; HU, X.. Research on corn production efficiency and influencing factors of typical farms: Based on data from 12 corn-producing countries from 2012 to 2019. **Plos one**, v. 16, n. 7, p. e0254423, 2021.

WILLMOTT, C. J. *et al*. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.