Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology

OPEN ACCESS

DOI: 10.5380/abclima

ANÁLISE ESPACIAL DAS TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E SUA INFLUÊNCIA NA AGRICULTURA IRRIGADA NO CEARÁ, BRASIL

Spatial Analysis of Climate Trends and its Influence on Irrigated Agriculture in Ceará, Brazil

Análisis Espacial de las Tendencias Climáticas y Su Influencia en la Agricultura Irrigada en Ceará, Brasil

Francisco Edson Paulo Ferreira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
edsonjua2009@gmail.com

José Ricardo Ferreira Lopes
Universidade do Estado de Minas Gerais
agrojrfl@gmail.com

Aparecida Rodrigues Nery
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
cydanery@gmail.com

Resumo: Em locais onde a evapotranspiração não pode ser compensada pela precipitação, que geralmente é insuficiente, a irrigação torna-se uma prática indispensável, principalmente na agricultura irrigada, onde se busca obter a máxima produtividade das lavouras. Este trabalho, por meio do teste de Mann-Kendall, analisou espacialmente a influência das tendências climáticas sobre a disponibilidade de água para irrigação e sua influência na produtividade das lavouras de feijão e milho no estado do Ceará (1981-2015). Os resultados mostraram diminuição significativa da precipitação total e aumento significativo das temperaturas máximas e mínimas, consequentemente, aumento da evapotranspiração, na maior parte do estado, quase sempre com significância estatística, principalmente na porção central do estado. Assim, houve um aumento na demanda de água para irrigação devido à redução da precipitação, aumento da temperatura e demanda evapostranspirométrica. Com a influência das condições climáticas houve redução na área plantada e na produção de feijão e milho, porém, apesar disso, a produtividade com as culturas estudadas manteve-se satisfatória.

Palavras-Chaves: Agricultura irrigada. Evapotranspiração. Tendência Climática.

Abstract: In places where evapotranspiration cannot be compensated due to insufficient rainfall, irrigation becomes an indispensable practice, mainly in irrigated agriculture, where seeks to obtain maximum crop productivity. This work, using the Mann-Kendall test, spatially analyzed the influence of climate trends on the availability of water for irrigation and its influence on the productivity of the bean and corn crops in the state of Ceará (1981-2015). The results showed a significant decrease in total rainfall and significant increase in maximum and minimum temperatures, consequently, increased evapotranspiration, in most of the state, almost always with statistical significance, especially in the central portion of the state. Thus, there was an increase in water demand for irrigation due to reduced precipitation, increased temperature and evapostranspirometric demand. With the influence of climatic conditions there was a reduction in the planted area and production of beans and corn, however, despite this, productivity with the studied crops had remained satisfactory.
Keywords: Irrigated Agriculture. Evapotranspiration. Climate trend.

Resumen: En lugares donde la evapotranspiración no puede ser compensada por la precipitación, que generalmente es insuficiente, el riego se convierte en una práctica indispensable, principalmente en la agricultura irrigada, donde se busca obtener la máxima productividad de los cultivos. Este trabajo, por medio de la prueba de Mann-Kendall, analizó espacialmente la influencia de las tendencias climáticas sobre la disponibilidad de agua para riego y su influencia en la productividad de los cultivos de frijol y maíz en el estado de Ceará (1981-2015). Los resultados mostraron disminución significativa de la precipitación total y aumento significativo de las temperaturas máximas y mínimas, consecuentemente, aumento de la evapotranspiración, en la mayor parte del estado, casi siempre con significación estadística, principalmente en la parte central del estado. Así, hubo un aumento en la demanda de agua para riego debido a la reducción de la precipitación, aumento de la temperatura y demanda evapostranspirométrica. Con la influencia de las condiciones climáticas hubo reducción en el área plantada y en la producción de frijol y maíz, sin embargo, a pesar de eso, la productividad con los cultivos estudiados se mantuvo satisfactoria.
Palabras clave: Agricultura irrigada. Evapotranspiración. Tendencia Climática.

Submetido em: 19/08/2020
Aceito para publicação em: 06/01/2022
Publicado em: 24/01/2022

INTRODUÇÃO

Um dos temas de maior relevância para a comunidade acadêmica na última década, sem dúvidas, é o efeito das mudanças climáticas, que já está afetando a agricultura e, consequentemente, a segurança alimentar em escala global, necessitando assim de ações imediatas, por parte dos gestores públicos e da comunidade em geral, que visem mitigar tais efeitos. Estudos publicados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) evidenciam que o aquecimento global, entre outros efeitos, altere a distribuição espacial e temporal da precipitação e quase sempre aumento da temperatura, maximizando os problemas de escassez hídrica em regiões onde a oferta é superada pela demanda (ALLEN, et al., 2013; FIELD et al., 2012).

De modo geral, a atividade mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, é a agricultura, principalmente no Nordeste Brasileiro (CARLOS; CUNHA; PIRES, 2019). Para minimizar esses efeitos Moore e Lobell (2014) alertam que é de fundamental importância o desenvolvimento de estratégias de adaptação para enfrentamento à essas mudanças, principalmente pelos pequenos agricultores. Deressa, Hassan e Ringler (2011) afirmam que a fatia correspondente a agricultura familiar, composta principalmente por pequenos agricultores, que são dependentes diretamente da produção agrícola e dos recursos naturais para a subsistência é a que mais sofre com os impactos adversos das alterações climáticas, necessitando urgentemente de estratégias de adaptação para o meio rural frente à essas mudanças.

A agricultura familiar de subsistência domina o cenário agrícola da região do Nordeste brasileiro, sendo responsável por a maior parte da produção dos produtos agrícolas, que ocorre geralmente em pequenas propriedades ou em terras arrendadas. Este sistema de produção é caracterizado por fazer pouco uso de recursos tecnológicos e insumos agrícolas, obtendo assim uma baixa produtividade. Sua produção é destinada, principalmente, ao o consumo próprio e o excedente são vendidos para complementação da renda.

De acordo com o último Censo Agropecuário (2017) a agricultura familiar tem um peso importante para o setor agrícola brasileiro. A agricultura familiar é representada por cerca de 3,9 milhões de estabelecimentos o que corresponde a 79% do total dos estabelecimentos rurais do Brasil, apresentando uma área de 80,9 milhões de ha, correspondendo à 23% da área de todos os estabelecimentos agropecuários do País. O estado

do Ceará ocupado o 2° lugar em área ocupada pela agricultura familiar, ficando atrás apenas do estado do Pernambuco. Agricultura familiar apresenta um valor de produção de R$ 107 bilhões o que equivalente a 23% de toda produção agropecuária brasileira (IBGE, 2017).

De acordo com Viera Filho (2017), para que a produção brasileira alcance resultados de produtividade satisfatórios, à longo prazo, é preciso atentar-se principalmente a relação dos efeitos das mudanças climáticas na produtividade agrícola. O autor relata ainda que, o sucesso da produtividade agrícola brasileira sempre esteve fortemente ligado fundamentalmente ao clima, fatores tecnológicos e desenvolvimento de pesquisas. Sendo os investimentos em novos conhecimentos e tecnologias, decisivos para continuidade do crescimento da produtividade.

Além disso em climas áridos e semiáridos, onde há problemas relacionados à irregularidade das chuvas resultando em secas severas e prolongadas devido à escassez de chuva, a irrigação constitui uma alternativa viável para compensar esse déficit hídrico, de modo a obter produtividade em níveis satisfatórios. Essa atividade tem participação substancial no total da demanda de água, a nível global representa 69% da demanda mundial (GITZ et al. 2016). No Brasil, de acordo com Agência Nacional das Águas esse percentual é de 62% (ANA, 2017).

No entanto, o uso da água para irrigação é feito de forma ineficiente. E isto se deve principalmente à incoerente da escolha dos sistemas de irrigação, geralmente, com baixa eficiência e a não adoção do manejo de irrigação. Diversos estudos têm sido realizados abordando o tema do uso eficiente da água para a irrigação em diversas culturas, principalmente em locais onde esse recurso é escasso (RAZZAQ et al., 2019; TAN: ZHENG, 2019).

Conforme explica Garcia e Vieira Filho (2014), entre os anos de 1960 e 2010, enquanto a população brasileira quase triplicou, a produção de grãos no Brasil foi multiplicada por 12 e a área agrícola aumentou em três vezes. Ainda de acordo com o autor, esse aumento na produtividade e na produção agrícola total, se deu pelo fato que uma parte dos produtores (normalmente empreendimento familiar) sentiu necessidade de ampliar o acesso aos mais variados mercados. E esse crescimento se deu por uma expansão guiada das *commodities* agrícolas voltadas principalmente ao mercado externo. No entanto, para que a produção agrícola brasileira se mantenha em níveis satisfatórios é de fundamental importância o

conhecimento e entendimento dos efeitos das mudanças climáticas nos índices produtivos das principais culturas agrícolas produzidas no Brasil.

Pois, os efeitos das mudanças climáticas resultam em alterações significativas do regime pluviométrico de determinada região, tais mudanças podem afetar o desenvolvimento das culturas agrícolas, comprometendo assim sua produtividade (SANTOS et al., 2018; VENTURA; GARCIA; ANDRADE, 2019). Portanto, o grande desafio da agricultura, nas próximas décadas, será suprir a demanda crescente por alimentos. Para isso é necessário o entendimento das tendências climáticas e os impactos destas variáveis no rendimento das principais espécies cultivadas pela agricultura. Esse tipo de avaliação, embora já realizada para as grades *commodities* agrícolas, ainda não foi realizado no estado do Ceará de forma espacialmente explícita.

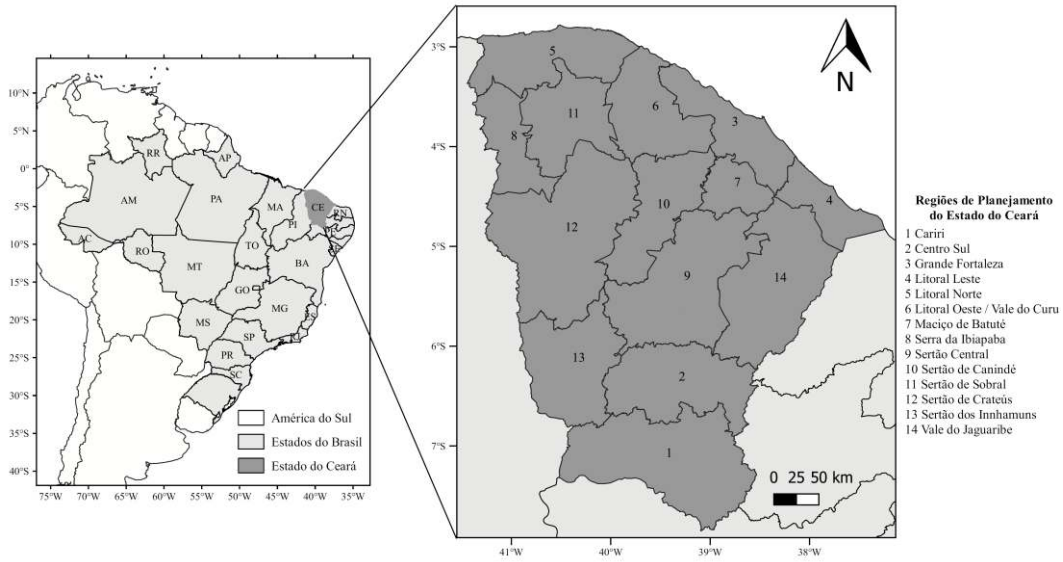
Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos das tendências espaciais e suas significâncias estatísticas das variáveis meteorológicas (precipitação pluvial, evapotranspiração, temperatura máxima e temperatura mínima) nas tendências de produtividade agrícola (culturas do feijão e do milho), especialmente na agricultura irrigada no estado Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

O estado do Ceará (Figura 1) localiza-se na região Nordeste do Brasil e está compreendido entre os paralelos de 2,5° e 8,0º de latitude Sul e os meridianos de 37,0° e 42,0° de longitude Oeste. Composto por 184 municípios e apresentando uma extensão territorial de 148.886,30 km², que corresponde a 9,58% da região Nordeste brasileira e 1,75% do território nacional, fazendo divisa ao Norte com o Oceano Atlântico, ao Sul com Pernambuco, ao Leste com Rio Grande do Norte e Paraíba e ao Oeste com o Piauí (IPECE, 2017).

O território cearense de acordo com a classificação climática de Köppen apresenta dois tipos de clima predominantes: 62,3% pertencentes ao domínio As (clima tropical quente e úmido), caracterizado por apresentar estação seca no inverno e pela ausência de chuvas no verão e sua ocorrência no “inverno”, que correspondente à estação chuvosa e não ao inverno propriamente dito e 37,7% pertencentes ao domínio BSh (clima semiárido quente), caracterizado pela escassez e grande irregularidade (temporal e espacial) da chuva (ALVARES et al., 2014).

Figura 1 - Localização da área de estudo, com identificação dos estados brasileiros, em destaque o Estado do Ceará e suas Regiões de Planejamento.



Fonte: elaborado pelos autores (2021).

A região semiárida é a mais afetada pelas mudanças climáticas. E essas mudanças climáticas impactam negativamente no nível de produtividade das principais culturas produzidas nessa região (MILHORANCE et al., 2019). Assim, como as culturas são utilizadas para a subsistência das famílias de pequenos produtores e para a alimentação animal, há uma forte relação entre a variabilidade da produtividade agrícola e a segurança alimentar (VENTURA; GARCIA; ANDRADE, 2019).

Mesmo frente às dificuldades impostas pelo clima, o estado cearense vem se destacando pela participação efetiva na produção agrícola do país. Dados referentes aos resultados preliminares no Censo Agropecuário 2017/18 mostra que o estado do Ceará apresenta mais de 394 mil estabelecimentos agropecuários, que ocupam uma área de quase 6,9 milhões de hectares (IBGE, 2017). A participação do estado cearense na produção agrícola nordestina é de destaque, principalmente pela produção de milho, feijão, cana-de-açúcar, mandioca e recompondo a lista, a cultura do algodão, devido a incentivos financeiros e tecnológicos.

Uma base de dados meteorológicos é essencial para avaliar os impactos da variabilidade climática na variabilidade do rendimento agrícola. O conjunto de dados climáticos feito por Xavier, King e Scanlon (2015) possui a resolução espacial de 0,25º × 0,25º (~ 28 km) e foi confeccionado utilizando dados de observações em superfície provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do

Departamento de Águas e Energia Elétrica que foram ligadas usando um algoritmo de interpolação ponderada da distância inversa. Este conjunto de dados aumenta significativamente a disponibilidade de dados climáticos no Brasil, pois é atualizado constantemente, de acesso gratuito <http://careyking.com/data-download/> e compreende o período de 1980 a 2015. Foi selecionado dados diários de precipitação pluvial (prcp), em milímetros (mm), temperatura máxima (Tmáx) e temperatura mínima (Tmin), em graus Celsius (ºC) e evapotranspiração de referência (ET_0), em mm dia^{-1}, calculada pelo método Penman – Monteith da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO) (ALLEN et al.,1998; RAES; MUNOZ, 2009).

Foram utilizados dados das lavouras temporárias provenientes da Produção Agrícola Municipal (PAM), por meio do Sistema de Recuperação Automática (SIDRA), disponível em https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612. Essas informações são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Trata-se de um conjunto de dados bastante detalhado, que tenta descrever as práticas de uso da terra a nível municipal.

Tendo em vista a importância quantitativa, em termos de ocupação de área e envolvimento de agricultores familiares, a seleção das culturas para este estudo foi motivada levando em consideração duas premissas, a saber: (i) as culturas estão entre as mais expressivas para os pequenos agricultores na região de estudo; e (ii) os impactos na produção desses agricultores terão resultados negativos em termos de segurança alimentar, principalmente para comunidades rurais de baixa renda. Assim, selecionamos dados de área plantada (em hectares, ha) e quantidade produzida (em toneladas, t) e calculamos a produtividade (t ha^{-1}) para as culturas do feijão e do milho, no período que compreendeu os anos de 1980 a 2015.

Os principais testes estatísticos utilizados em estudos que verificam a significância de mudanças graduais na série de dados hidrológicos para detectar as tendências é o teste não paramétrico de Mann-Kendall. Proposto inicialmente por Mann (1945) e modificado por Kendall (1970), trata-se de um teste robusto, sequencial e não paramétrico, ou seja, não requer distribuição normal dos dados (PAULINO et al., 2019). Por sua robustez é o teste recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para analisar se

determinada série de dados meteorológicos possui alteração significativa na tendência temporal. A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, dado como se segue:

$$S = \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} \text{sinal}\,(x_i - x_j), \tag{1}$$

em que: S é o sinal $(x_i - x_j)$ é obtido da seguinte forma:

$$Sinal = \begin{cases} 1 & \text{se} \quad (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{se} \quad (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{se} \quad (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \tag{2}$$

A estatística S tende para a normalidade quando *n for* grande, com média E(S) e variância Var (S) definidas como se segue:

$$E(S) = 0, \tag{3}$$

$$Var(S) = \frac{n(n+1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{q} t_p (t_p - 1)(2t_p + 5)}{18} \tag{4}$$

em que: (t_p) é número de dados com valores iguais num certo grupo (*p*th) e q o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p. O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) é dado por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var\,(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var\,(S)}} & S < 0 \end{cases} \tag{5}$$

A presença de tendência estatisticamente significativa na série temporal é avaliada usando-se o valor de Z. Essa estatística é usada para testar a hipótese nula que nenhuma tendência existe. O valor positivo de Z_{MK} indica uma tendência crescente. Para testar qualquer tendência constante, crescente ou decrescente para um nível significante de *p*, é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de Z é maior que $Z_{1-p/2}$, o qual é obtido na tabela da distribuição normal.

Os níveis de significância de *p* = 0,01 e 0,05 foram aplicados neste estudo. Uma estimativa não paramétrica para o valor da inclinação da tendência é obtida de acordo com Silva et al., (2010):

$$\beta = \text{Median}\left[\frac{x_j - x_i}{j-i}\right] \text{ para } i < j \quad (6)$$

em que: x_j e x_i são os pontos dados medidos no tempo *j* e *i*, respectivamente.

A base de dados agrícola foi submetida ao teste de regressão linear, com o objetivo de descrever através de um modelo matemático seu comportamento temporal, a partir de *n* observações dessas variáveis. Análise de Regressão é uma técnica de modelagem utilizada para analisar a relação entre uma variável dependente Y (também chamada de variável resposta) e uma ou mais variáveis independentes X1, X2, X3, ..., Xk, também conhecidas como variáveis explicativas ou preditoras. O objetivo dessa técnica é identificar (estimar) uma função que descreve, o mais próximo possível, a relação entre essas variáveis e assim predizer o valor que a variável dependente (Y) irá assumir para um determinado valor da variável independente X (DOS SANTOS FRANCO et al., 2018).

Para verificar a significância dos valores das tendências adquiridas com o teste de Mann-Kendall, bem como da regressão linear, foi utilizado um dos testes de significância mais utilizados em estudos de meteorologia (LOPES; DANTAS; FERREIRA, 2019) o qual pode ser calculado da seguinte forma:

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (7)$$

Os resultados das análises de tendência e regressão, incluindo as direções e suas magnitudes são exibidas de forma espacialmente explícita, a fim de analisar as tendências em um contexto espacial e reconhecer a extensão e comportamento da variabilidade climática. Esta avaliação detalhará, espacialmente, a relação entre a variabilidade climática e a variabilidade de produtividade agrícola, mostrando padrões espaciais dos efeitos relativos de precipitação, evapotranspiração e temperatura máxima e temperatura mínima no estado do Ceará para o período de 1980 a 2015.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise espacial das variáveis meteorológicas

A Figura 2A apresenta a variabilidade espacial dos totais médios anuais da chuva, onde os maiores totais pluviométricos (valores em torno de 1.000 mm anuais) são observados na

porção ao nordeste do estado (região litorânea), além de um pequeno núcleo ao sul do Ceará, na região do Cariri. Já os menores valores de precipitação ocorreram na porção central, ao oeste e ao sudoeste do estado, atingindo valores entre 500 e 700 mm anuais.

As tendências pluviométricas (Figura 2B) apontam, em sua maioria, diminuição, podendo chegar até 13 mm.ano^{-1}, em um núcleo ao noroeste do estado, com significância estatística, com confiabilidade maior que 95% (Figura 2C). Por outro lado, ao sul do estado, houve uma tendência de aumento de 3 a 5 mm. ano^{-1}, com significância estatística (*p-valor* > 0,9), em alguns pequenos núcleos. Em contrapartida, ao nordeste, no litoral do estado, o aumento não apresentou significância estatística.

O Ceará apresentou uma variabilidade temporal e espacial de chuva, com totais pluviométricos variando de 500 a 1300 mm para o período de 1980 a 2015 (Figura 2A). No entanto, algumas regiões, como no caso da região do Cariri, localizada ao sul do estado, devido à presença chapadas, serras e montanhas, como Chapada do Araripe favorece condições de microclimas específicos, com isso há um aumento umidade, favorecendo a formação de chuvas orográficas, que além de tornar as temperaturas amenas, propicia uma sensação térmica mais agradável (LIMA; LIRA, 2021).

Na porção central, ao oeste e ao sudoeste do estado do Ceará as tendências de precipitaram (Figura 2B) foram de diminuição dos totais anuais com alta significância estatística (Figura 2C). Santos e Manzi (2011) explicam que isso ocorre devido ao aumento nas intensidades das secas e diminuição dos eventos de precipitação forte. E isto está associado ao aumento nas anomalias de temperaturas da superfície dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, e anomalia positiva da temperatura da superfície do mar (TSM), o que induz que a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) se desloque em direção para o norte, inibindo os eventos chuvosos e aumento de dias secos nessas regiões do Ceará.

Na região semiárida no Nordeste Brasileiro é comum à ocorrência de secas com elevado grau de severidade, e isso está relacionado principalmente a irregularidades de chuvas nessa região, tanto temporal quanto espacialmente, com períodos de chuvas má distribuídos, normalmente de três a cinco meses por ano (MENEZES et al., 2015). Para o estado do Ceará de acordo com Alves, Silva e Rickes (2017) este comportamento da precipitação está relacionado principalmente a variabilidade da temperatura da superfície do mar (TSM),

destaque, para o Pacífico e o Atlântico e suas interações com a atmosfera que atuam de formar a modelar os índices pluviométricos.

Pela Figura 4D observa-se que os maiores valores de temperatura máxima do ar correm no centro, ao leste, ao oeste a ao noroeste do estado, com valor de 36°. E os menores valores de temperatura máxima do ar, 27°, são observados ao nordeste do estado. As tendências para temperatura máxima do ar (Figura 4E), apontam ser positivas, ou seja, de aumento da temperatura máxima para quase todo o estado, e em sua grande maioria com significâncias estatística (Figura 2F). Apenas um pequeno núcleo ao nordeste do estado apresentou tendências de diminuição da temperatura máxima do ar com significância estatística, com confiabilidade maior que 95% (Figura 2C)

Na Figura 2G observa-se uma amplitude térmica anual nos valores de temperatura mínima de 3 °C, sendo seu valor mínimo de 20 °C e máximo de 23 °C. Os menores valores de temperatura mínima são observados ao sul e ao nordeste do estado ao nordeste do estado. Houve tendência de aumento da temperatura mínima do ar (Figura 2H) e com significância estatística (*p-valor* > 0,9) ao sul, ao norte, na porção central, ao leste e ao oeste do estado (Figura 2I). Enquanto que houve tendência de diminuição da temperatura mínima do ar e com significância estatística (*p-valor* > 0,95) apenas em um pequeno núcleo ao nordeste e ao sudoeste do estado.

Além da precipitação, a temperatura é uma variável climática de grande importância para o entendimento da dinâmica climática local. Paulino et al. (2019) utilizando dados pontuais de estações do INMET presentes no estado do Ceará, observaram que em 75% das estações analisadas por meio do teste de Mann-Kendall apresentaram tendência positiva significativa nos valores médios anuais de temperatura máxima, com valor máximo superior a 5°C.ano^{-1}, ao leste do estado. E em 50% das estações analisadas as tendências foram positivas com significância dos valores médios anuais de temperatura mínima, com valor máximo de 5°C.ano^{-1} observadas ao nordeste do estado.

Costa, Mateus e Da silva (2014) observaram que a temperatura máxima no estado do Ceará para o período de 1973-2010 (37 anos), apresentaram tendência positiva com aumento da temperatura máxima, porém sem significância estatística, resultados que se contrapõe aos encontrados na presente pesquisa para algumas regiões. Isto pode ser explicado devido a diferença na série de dados, já que na pesquisa atual foi feita de 1980-2015 (35 anos), e foi a

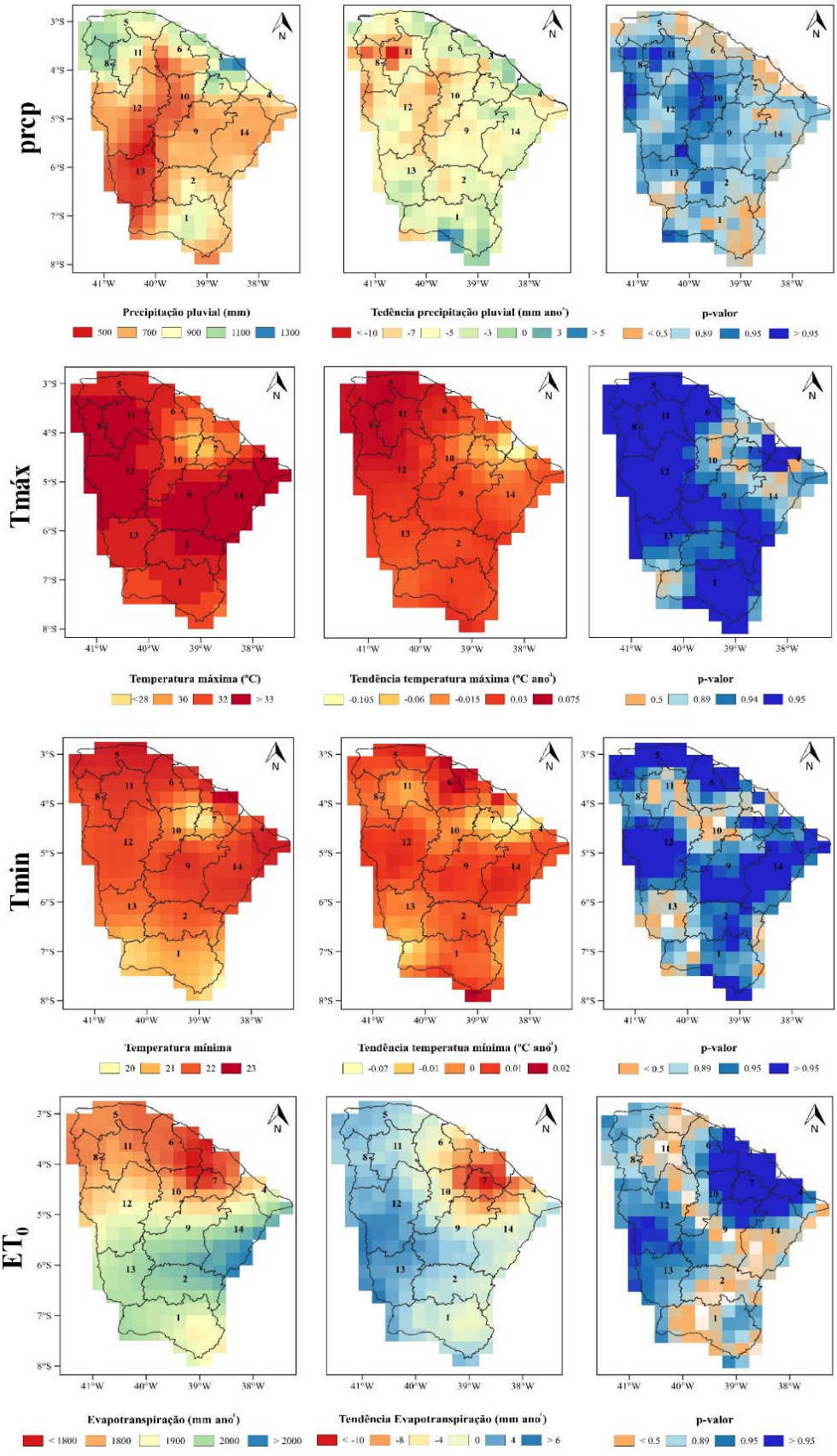
partir do ano de 2010 que houve incremento constate da temperatura na média global anual em decorrência das mudanças climáticas globais (MARENGO et al., 2017). Esse comportamento é decorrente das variações das escalas sazonais, interanuais e decadais sob sua temperatura. É fato comprovado que sazonalidade, El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Dipolo do Atlântico, ciclo de manchas solares e Oscilação Decadal do Pacífico influenciam as temperaturas no estado do Ceará (COSTA; MATEUS; DA SILVA, 2014).

Observa-se pela Figura 2J que a ET_0 supera os 1800 mm anuais sendo seu máximo valor de 2.100 mm anuais. Ao comparar o valor da evapotranspiração com o valor da precipitação (Figura 2A), contata-se que a ET_0 média anual ultrapassa a precipitação em aproximadamente 54%, o que correspondente a um déficit de 1.050 mm anuais. As tendências de evapotranspiração (Figura 2L) apontam diminuição com forte significância estatística, ou seja, nível de significância superior a 95% (Figura 2M) (*p-valor* > 0,95) ao nordeste do estado. Enquanto que os maiores valores de evapotranspiração são observados ao sudeste do estado, com tendência de aumento (Figura 2L), porém sem significância estatística (*p-valor* < 0,5).

Além do conhecimento da precipitação e da temperatura, no estado do Ceará o conhecimento da demanda hídrica das culturas só é possível após estimativa precisa da evapotranspiração de referência. Em relatório publicado pelo IPCC mostra que, a temperatura do ar próximo a superfície aumentou significativamente nas últimas décadas. Com isso, a evaporação certamente alcançou taxas superiores, como consequência disto, em regiões onde há presença de vegetação e áreas irrigadas de produção agrícola apresentará maiores valores de evapotranspiração, consequentemente, a demanda de água para a irrigação também aumentará significativamente nas próximas décadas (STOCKER et al., 2014).

Paulino et al. (2019) utilizaram o teste de Mann-Kendall para o período de 1961 a 2015, aplicando-o a dados pontuais e observaram que houve tendência positiva na evapotranspiração para estação ao sul do estado (Barbalha)com aumento de 2,56 $mm.ano^{-1}$. Para as estações outras estações ao sul (Crateús e Iguatu) houve tendência negativa, porém sem significância com diminuição de 1,81 $mm.ano^{-1}$ e 2,31 $mm.ano^{-1}$, respectivamente. Para as demais estações houve tendência negativa, porém, sem significância estatística.

Figura 2- Distribuição espacial, tendências pelo teste de Mann-Kendall e nível de significância estatístico para pluviometria (A-C), temperatura máxima do ar (D-F), temperatura mínima do ar (G-I) e evapotranspiração de referência (J-M), no estado do Ceará, no período de 1980 a 2015.



Fonte: elaborado pelos autores (2021).

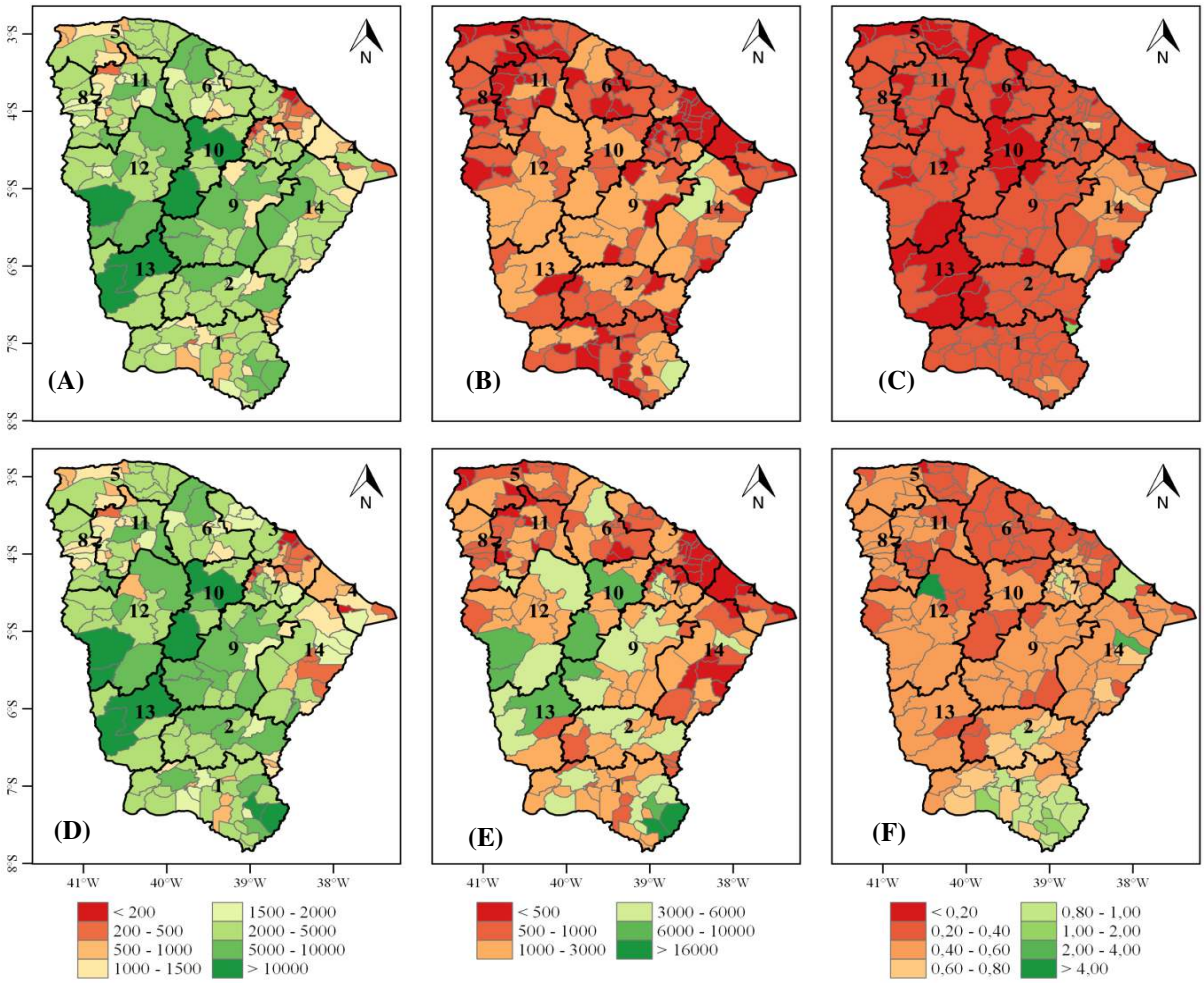
Análise espacial dos dados agrícolas

Pela Figura 3A e Figura3D, observa-se que a porção central do estado foi a que apresentou maior área plantada com feijão e milho no estado. Sendo a porção do litoral leste e um pequeno núcleo ao noroeste do estado as que apresentaram menor área plantada com ambas as culturas.

Para produção do feijão no Ceará (Figura 3B), os menores valores são observados ao sul, ao nordeste e ao noroeste do estado. Tendo destaque para produção do feijão apenas um pequeno núcleo ao sul e outro ao leste do estado. Já para a produção do milho no Ceará (Figura 3E) os menores valores são observados ao leste, ao sudeste, ao norte e noroeste do estado. Sendo os maiores valores de produção de milho observados na porção central, ao oeste e num pequeno núcleo ao sul do estado.

Para produtividade o feijão (Figura 3C) e do milho (3F), observa-se que o milho apresenta maior produtividade quando comparado com o feijão. Merece destaque o sul do Ceará por apresentar boa produtividade de milho, mesmo assim as maiores produtividades são observadas em pequenos núcleos ao leste e ao oeste do estado, onde estão alocados os principais perímetros irrigados do estado do Ceará. Para o feijão (Figura C), apenas um pequeno núcleo ao sudeste do estado alcançou a maior produtividade no estado do Ceará. Sendo que a produtividade com feijão (Figura 3C) apresentou queda de produtividade na porção central, ao sul e ao sudoeste do estado.

Figura 3- Distribuição espacial da área plantada (ha), da produção (t) e da produtividade (t ha^{-1}) do feijão (A-C) e do milho (D-F), respectivamente, no estado do Ceará (1980-2015).

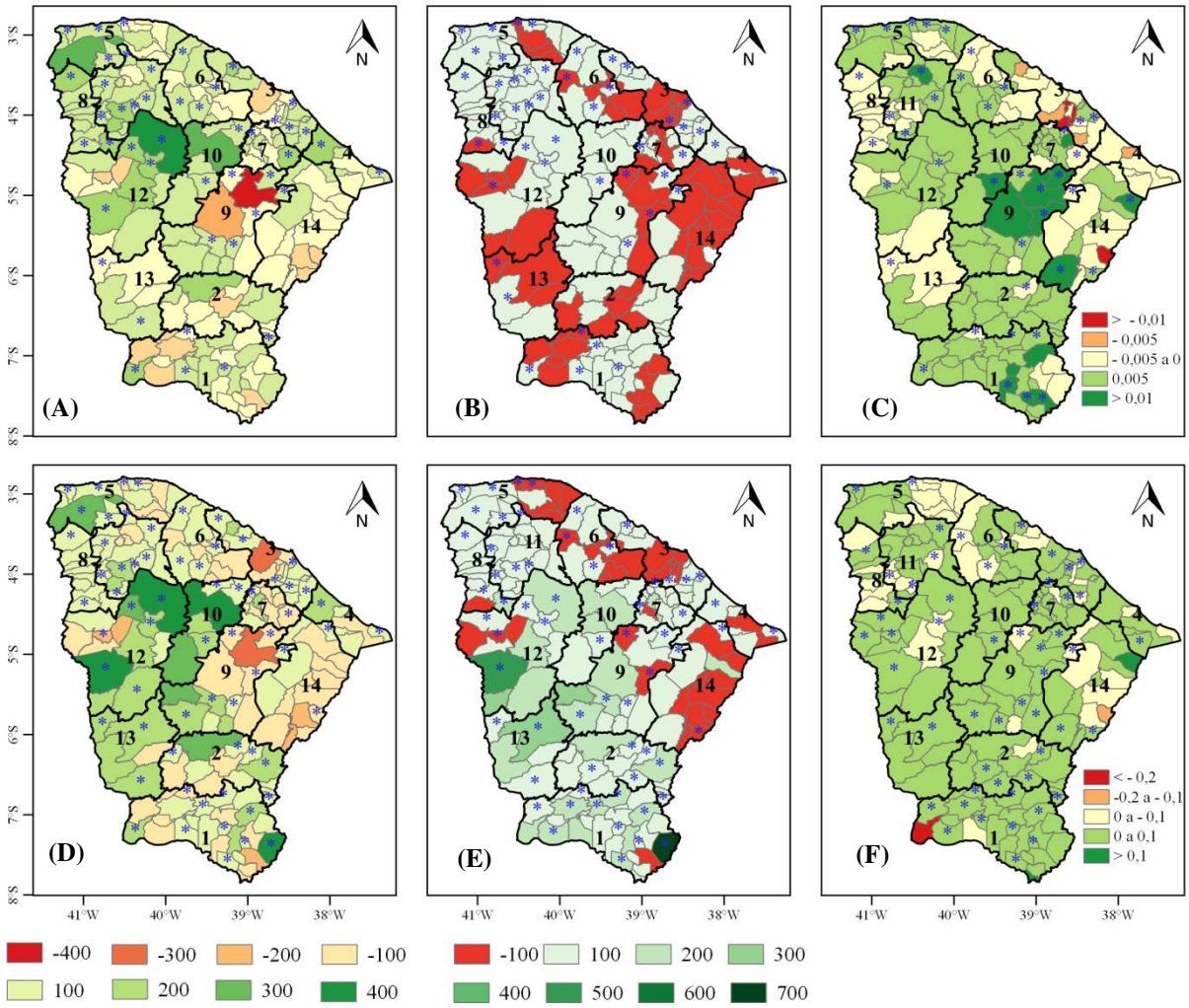


Fonte: elaborado pelos autores (2021).

Pode-se observar que a tendência de área plantada com feijão (Figura 4A) foi de aumento. No entanto, ao sul e na porção central foram visualizadas tendências positivas com significância estatística. Já ao leste e ao sul, houve tendência de diminuição, mas sem significância estatística. Para tendência de produção de feijão (Figura 4B) houve diminuição ao leste, ao oeste e ao sul do estado, mas sem significância estatística. Na parte ao norte do estado é onde observa-se tendências de aumento da produção de feijão com significância estatística (Figura 4C). Já na produtividade do feijão (Figura 4C) observa-se tendências de aumento para praticamente todo estado do Ceará, seguidas de forte significância estatística principalmente na porção central e ao norte do estado. E as tendências de diminuição da produtividade (Figura 4C) são observadas ao oeste, ao leste e ao nordeste do estado, quase que sempre sem significância estatística.

Pela Figura 4D, para a cultura do milho, observa-se que houve predominantemente tendência de redução de área plantada e sem significância estatística para praticamente todo o Ceará. Apenas ao leste, e em pequenos núcleos ao sul e ao noroeste do estado foi possível observar tendência de aumento de área plantada, com e sem significância estatística. Para tendência de produção de milho (Figura 4E) contata-se que ao sul do estado essa tendência foi de aumento e com significância estatística. E as tendências de diminuição são observadas ao norte, ao leste e oeste do estado, com e sem significância estatística. Houve tendência de aumento de produtividade de milho (Figura 4F) para praticamente todo o estado do Ceará, e seguida em sua grande maioria com significância estatística. É observada tendência de diminuição de produtividade de milho (Figura 4F) ao leste e em um pequeno núcleo no sul do estado, mas sem significância estatística. Ao sul do estado houve de diminuição de produtividade, mas com significância estatística.

Figura 4- Distribuição espacial das tendências lineares da área plantada (ha), da produção (t) e da produtividade (t.ha^{-1}) ao nível de significância de 5% (α = 0,5%) do feijão (A-C) e do milho (D-F), respectivamente, no estado do Ceará (1980-2015).



Fonte: elaborado pelos autores (2021).

Conforme os resultados apresentados, o estado do Ceará apresenta uma grande variabilidade espacial para os dados climáticos (chuva, temperatura e ET_0), a qual reflete na variabilidade dos dados agrícolas (área plantada, produção e produtividade) para as culturas do feijão e do milho, principalmente por se tratarem de cultivos característicos de sistema sequeiro.

O estado do Ceará está inserido quase que completamente dentro dos limites da região semiárida (cerca de 98,60%), fato esse que torna o estado propenso a secas severas (CORTEZ; LIMA; SAKAMOTO, 2017), veranicos (ALVES; SILVA; RICKES, 2017) e estiagens (RABELO; LIMA NETO, 2018), fazendo com que os agricultores cearenses não possam atingir seu potencial produtivo máximo.

A agricultura familiar representa um setor de peso no cenário econômico nacional. A produção agrícola desse setor é caracterizada, em sua grande maioria, como de subsistência, com baixo nível tecnológico e baixo rendimento, utilizando os recursos disponíveis de forma extensiva, além de ser considera a região mais afetada pelas adversidades climáticas, principalmente pela variabilidade das chuvas (BARRETO; DE OLIVERIA, DA CRUZ, 2012; BEZERRA, 2016; COSTA; DA SILVA, 2017; LOPES; DANTAS; FERREIRA, 2019). No último Censo Agropecuário (2017), a agricultura familiar foi responsável por 23% de toda a produção agrícola brasileira.

O Ceará é reconhecido mundialmente por ter uma participação efetiva na produtividade agrícola. No entanto, as produções do feijão e do milho estão decaindo, principalmente nas regiões onde os maiores perímetros irrigados estão instalados, e isso se deve principalmente devido a escolha dos produtores em plantar culturas mais rentáveis, como no caso as fruteiras (VIDAL ; XIMENES, 2016). No ano de 2018 o Ceará ocupou a terceira colocação brasileira em exportação de frutas, e os munícipios que se destacam na produção de frutas estão nas áreas onde estão alocados os principais perímetros irrigados do estado (VIDAL, 2018).

O estado do Ceará contempla 14 perímetros irrigados federais somando uma área irrigável de aproximadamente 52.000 ha. Os perímetros irrigados foram instalados ainda na década de 1970. Os dois maiores perímetros, em área irrigável, são Baixo Acaraú (Litoral Norte (4)) e Tabuleiro de Russas (Vale do Jaguaribe (14)), como área irrigável de 8.335 ha e 14.508 ha, respectivamente (PONTES; ARAGÃO, 2013).

De acordo com Paulino et al. (2019) a Bacia do Jaguaribe na região do Vale do Jaguaribe, apresenta uma demanda de água para irrigação superior a 80% da sua disponibilidade de água total. Os autores ainda alertam que é necessária a realização de outros estudos que visem explicar melhor como a variabilidade climática afeta a disponibilidade de água para irrigação de forma a obter resultados que possam ser utilizados no desenvolvimento de melhores políticas de adaptação climáticas.

Gondim et al. (2004) realizou um diagnóstico da agricultura irrigada nas Sub-bacias do Baixo e Médio Jaguaribe, no Vale do Jaguaribe, e constatou que o maior percentual de área é representado pela irrigação por inundação, cerca de 1,1 milhão hectares, o que equivale à 39,7%, enquanto que os métodos de irrigação por gotejamento e pivô central apresentaram

área de (429 ha – 8,0%) e (465 ha – 8,6%), respectivamente. O sistema de irrigação por inundação é o que apresenta menor eficiência do uso da água, 60% (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009). No entanto, essa realidade mudou consideravelmente como aponta estudo realizado por Pereira e Cuellar (2015) onde houve substituição da irrigação por inundação pela irrigação por sistemas localizados (miscroaspersão e gotejamento).

Silveira et al. (2019) analisaram os efeitos da seca nos perímetros irrigados no Ceará e observaram que todos possuem como fontes hídricas principais as águas superficiais reservadas em açudes, os principais métodos de irrigação utilizados são: superficial por sulcos e inundação, aspersão convencional, microaspersão, pivô central e gotejamento. Os irrigantes variam entre pequenos produtores, técnicos e engenheiros agrônomos, além de empresas rurais. Os autores concluíram ainda que, a maioria dos perímetros irrigados no estado do Ceará apresentaram indicadores positivos de produção até o ano de 2014, a partir deste ano, quando o aconteceu o colapso hídrico provocado por eventos de secas sequenciais resultou no racionamento de água e queda geral na produção das culturas.

No entanto, a construção de reservatórios gigantescos no Ceará é inviável, devendo perfazer a construção de barragens de menor porte, que permitam distribuição de água por meio de sistemas de integração (ANA, 2019). Dantas (2017) conclui em seu estudo que para que o estado do Ceará consiga conviver com segurança hídrica local e regional, é necessário investir num melhor monitoramento e gerenciamento das águas do Estado, de modo a oferecer melhor qualidade de vida, mesmo convivendo nesses ambientes de alta vulnerabilidade climática.

Apesar da diminuição da área plantada com as culturas do milho e do feijão, a produtividade ainda assim se manteve satisfatória, isto se deve principalmente ao acesso dos pequenos produtores rurais às tecnológicas de produção disponíveis, como sementes resistentes às secas, técnicas de consorcio com outras culturas, além da assistência técnica e do acesso facilitado aos créditos rurais agropecuários.

De acordo com Lopes, Dantas e Ferreira (2019) a agricultura teve acesso facilitado as tecnologias adotadas no sistema de produção das culturas, destacando-se o melhoramento genético, variedades mais resistentes à seca, manejo de solo e o emprego da mecanização em diversos processos. Perfazendo assim uma agricultura sustentável com elevados índices de produtividade e em menores áreas. Corroborando com Busto, Caprettini, Ronticelli (2013) que

afirmam que a partir dos anos 2000 houve introdução de novas tecnologias nas principais safras do país (sementes geneticamente modificadas, por exemplo), afetando significativamente os totais da produtividade das culturas agrícolas.

CONCLUSÕES

O estado do Ceará por está quase que completamente dentro dos limites do semiárido nordestino, assim, sofre influência direta da variabilidade climática o que influencia diretamente na produtividade agrícola local. Devido a isso, a precipitação não consegue suprir o déficit da demanda evapotranspirativa em praticamente todos meses do ano, devido principalmente ao incremento da temperatura, necessitando cada vez mais da prática da irrigação.

As análises dos efeitos das tendências espaciais das variáveis meteorológicas nas tendências de produtividade da cultura do milho e do feijão, revela que praticamente todo o estado do Ceará sofreu um aumento significativo das temperaturas máximas e mínimas, consequentemente, aumento da evapotranspiração, acarretando assim redução da disponibilidade de água para a irrigação, principalmente em anos de secas, em especial nas áreas onde estão alocados os principais perímetros irrigados no estado do Ceará.

Houve redução da área plantada para as culturas do feijão e do milho para quase todo o estado do Ceará. Apesar disso a produtividade se manteve satisfatória devido ao acesso dos agricultores às tecnologias de produção disponíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, Richard G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998. Disponível em: http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/fao56.pdf (Acessado Jul 2019).

ALLEN, Simon K. et al. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. An overview of the Working Group 1 contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2014. p. 3544.

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

ALVES, José Brabo; SILVA, Emerson Marian Da; RICKES, Cláudia Patrícia. Downscaling dinâmico de precipitação e veranicos no estado do Ceará. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 385-393, 2017.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada (2017**). BRASÍLIA-DF, 2017. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacaoUsodaAguanaAgriculturaIrrigada.pdf>. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas. Perspectiva de novos reservatórios- **Jornal O Povo**, 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/perspectiva-de-novos-reservata3rios.2019-03-15.4327749975>. Acesso em: 28 de mai. de 2020.

BARRETO, Herlon Bruno Ferreira; DE OLIVEIRA SANTOS, Wesley; DA CRUZ, Celso Mariano. Análise da distribuição da precipitação pluviométrica média anual no estado do Ceará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 17, 2012.

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antônio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de irrigação**. 8. ed. 2º Reimpressão. Viçosa: UFV, 2009, 596 p.

BEZERRA, Francisco Gilney Silva. **Contribuição de fatores socioeconômicos, biofísicos e da agropecuária à degradação da cobertura vegetal como "proxy" da desertificação no Semiárido do Nordeste do Brasil**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016. São José dos Campos: INPE.

BUSTOS, Paula; CAPRETTINI, Bruno; PONTICELLI, Jacopo. Agricultural productivity and structural transformation: Evidence from Brazil. **American Economic Review**, v. 106, n. 6, p. 1320-65, 2016.

CARLOS, Sabrina de Matos; CUNHA, Dênis Antônio da; PIRES, Marcel Viana. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 455-471, 2019.

CORTEZ, Helder dos Santos; LIMA, Gianni Peixoto de; SAKAMOTO, Meiry Sayuri. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 83-118, 2017.

COSTA, Iuri Moreira; MATEUS, Antonio Edgar;. Escalas temporais e tendências observadas nas temperaturas m áximas no Estado do Ceará Timescales and observed trends in the highest temperatures in the state of Ceará. **AMBIÊNCIA**, v. 10, n. 2, p. 465-487, 2014.

COSTA, Juliana Alcântara; DA SILVA, Djane Fonseca. Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará. **Revista brasileira de geografia física**, v. 10, n. 4, p. 1002-1013, 2017.

DANTAS, Sulivan Pereira. **Açudagem no Nordeste brasileiro e no Ceará: estimativa de evaporação do açude Castanhão em um ano seco.** 2017. Tese (Doutorado em Geografia: Área de Concentração em Dinâmica Ambiental e Territorial do Nordeste Semiárido), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

DERESSA, Temesgen Tadesse; HASSAN, Rashid M.; RINGLER, Claudia. Perception of and adaptation to climate change by farmers in the Nile basin of Ethiopia. **The Journal of Agricultural Science**, v. 149, n. 1, p. 23-31, 2011.

DOS SANTOS FRANCO, Vania et al. PREVISÃO HIDROLÓGICA DE CHEIA SAZONAL DO RIO XINGU, ALTAMIRA-PA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

FIELD, Christopher B. et al. (Ed.). **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, 2012.

GARCIA, Junior Ruiz; VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. Política agrícola brasileira: produtividade, inclusão e sustentabilidade. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 1, p. 91-104, 2014.

GITZ, Vincent et al. Climate change and food security: risks and responses. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Report**, v. 110, 2016.

GONDIM, Rubens Sonso et al. Diagnóstico da agricultura irrigada no baixo e médio Jaguaribe. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 35, n. 3, p. 424-430, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). **Censo Agropecuário 2017** (Resultados definitivos). Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=82261> Acesso em: 19 de dez. de 2019.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. **Instituto Português do Mar e da Atmosfera, IP IPCC**, 2014.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012). A Agricultura no Nordeste Brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento, Rio de Janeiro, Ipea, 48 p, 2012.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2017). **Ceará em Números** (2017). Disponível em:<http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2017/completa/Ceara_em_Numeros_2017.pdf> Acesso em: 06 de jun. de 2019.

KENDALL, Maurice G. Rank correlation methods (london: Charles griffin, 1948). **KendallRank Correlation Methods1948**, 1970.

LIMA, Marcos Aurélio da Silva; LIRA, Marcos Antônio Tavares. A Variabilidade Climática e os Desastres Naturais no Estado do Ceará (1991-2019). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 603-614, 2021.

LOPES, José Ricardo Ferreira; DANTAS, Milena Pereira; FERREIRA, Francisco Edson Paulo. Identificação da influência da pluviometria no rendimento do milho no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3610, 2019.

LOPES, José Ricardo Ferreira; DANTAS, Milena Pereira; FERREIRA, Francisco Edson Paulo. Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. **Nativa**, v. 7, n. 1, p. 77-83, 2019.

MANN, Henry B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 245-259, 1945.

MARENGO, José A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1973-1985, 2017.

MENEZES, Hudson Ellen Alencar et al. Influência de veranico na produção agrícola no município de Santa Filomena, Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 44, 2015.

MILHORANCE, Carolina et al. O desafio da integração de políticas públicas para a adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019.

MOORE, Frances C.; LOBELL, David B. Adaptation potential of European agriculture in response to climate change. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 7, p. 610-614, 2014.

PAULINO, Virginia Ellen do Nascimento et al. Trends in Crop Reference Evapotranspiration and Climatological Variables Across Ceará State–Brazil. **Revista Brasileira de meteorologia**, v. 34, p. 79-88, 2019.

PEREIRA, Guilherme Reis; CUELLAR, Miguel Dragomir Zanic. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. **estudos avançados**, v. 29, p. 115-137, 2015.

PONTES, Paulo Araújo; ARAGÃO, Klinger. Os Perímetros Irrigados do Ceará: os grandes projetos de irrigação têm impacto sobre a renda local? **In:** XXXVII EnANPAD. Rio de Janeiro, 2013.

RABELO, Udinart Prata; LIMA NETO, Iran Eduardo. Efeito de secas prolongadas nos recursos hídricos de uma região semiárida: uma análise comparativa para o Ceará. 2018.

RAES, Dirk; MUNOZ, G. The ETo Calculator. **Reference Manual Version**, v. 3, p. 480, 2009.

RAZZAQ, Amar et al. Can the informal groundwater markets improve water use efficiency and equity? Evidence from a semi-arid region of Pakistan. **Science of The Total Environment**, v. 666, p. 849-857, 2019.

SANTOS, Carlos Antonio Costa dos; MANZI, Antonio Ocimar. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos Oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 157-165, 2011.

SANTOS, Cleyson Danilo Monteiro et al. Impactos das mudanças climáticas na cultura da soja no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p. 2454, 2018.

SILVA, Roberta A. et al. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 501-509, 2010.

SILVEIRA, Renata Nayara Câmara Miranda et al. Efeitos da seca em perímetros irrigados no Semiárido Brasileiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 268-275, 2019.

STOCKER, Thomas et al. **Summary for policymakers**. 2014. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf> Acesso em: 19 de jan de 2021.

TAN, Minghong; ZHENG, Luqian. Increase in economic efficiency of water use caused by crop structure adjustment in arid areas. **Journal of environmental management**, v. 230, p. 386-391, 2019.

VENTURA, Andréa Cardoso; GARCIA, Luz Fernández; ANDRADE, José Célio Silveira. O POTENCIAL DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS DE CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO PARA A GERAÇÃO DE SINERGIA ENTRE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UM CASO ILUSTRATIVO. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 50, n. 1, p. 65-83, 2019.

VIDAL, Maria de Fátima. Fruticultura na área de atuação do BNB**. Caderno Setorial-ETENE**, n. 3, p. 1-13, 2018.

VIDAL, Maria de Fátima; XIMENES, Luciano J.F. Comportamento recente da fruticultura nordestina: área, valor da produção e comercialização. **Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 1, n.2, out.2016. (Série Caderno Setorial, n.2)

VIEIRA FILHO, José Eustaquio Ribeiro. **Expansão pecuária no Brasil e proposição metodológica de cálculo da produtividade em termos de sustentabilidade ambiental**. Rio de Janeiro: ABDE Editorial, 2017. p. 227-258. (Prêmio ABDE-BID de Artigos, categoria II – Finanças Verdes).

XAVIER, Alexandre C.; KING, Carey W.; SCANLON, Bridget R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.