

INSTABILIDADES PLUVIOMÉTRICAS TEMPORAIS INDUZEM ERROS DE PREVISÕES NA AGRICULTURA DO SEMIÁRIDO NO CEARÁ

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo aferir as instabilidades associadas às pluviometrias e às variáveis que definem as produções de arroz, feijão, mandioca e milho no estado do Ceará, entre os anos de 1945 e 2020. Para tanto, aplicou-se os Coeficientes de Variação e os modelos autoregressivos, integrados e médios móveis (ARIMA), respectivamente. Os resultados mostraram elevadas instabilidades das pluviometrias que transbordaram às variáveis definidoras das produções das lavouras e que os erros gerados nos modelos utilizados para as previsões são influenciados pelas pluviometrias anuais. Mostrou-se também os prováveis erros que podem ser cometidos na previsão das produções de arroz, feijão, mandioca e milho e os níveis de pluviometria a eles associados, confirmando-se que as produções de lavouras de sequeiro no semiárido estão sujeitas a vários riscos, o maior deles está associado à dificuldade de prever os preços. Nestes casos, os preços tendem a ficar mais aviltados, em nível de agricultor, quando as pluviometrias são mais abundantes porque a oferta dos produtos tende a aumentar e a demanda não cresce na mesma proporção.

Palavras-chave: Regime semiárido; Ocorrência sistemática de secas; Riscos econômicos; Irregularidades pluviométricas; Produtividades sustentáveis

ABSTRACT

This research aims to assess the instabilities associated with rainfall and the variables that define rice, beans, cassava, and corn production in the state of Ceará between 1945 and 2020. Therefore, we applied the Coefficients of Variation and the autoregressive, integrated and moving average (ARIMA) models, respectively. The results show high rainfall instability, which spilled over into the variables that define crop yields. It was shown that the errors generated in the models used to forecast the variables that define bean and corn yields, harvested areas and rice yields, as well as cassava yields, are influenced by annual rainfall. Based on this evidence, the probable errors that can be made in predicting rice, bean, cassava, and corn yields and the rainfall levels associated with them. The evidence found in the research confirms that the production of rainfed crops in the semi-arid region is subject to various risks, the greatest of which is associated with the difficulty of predicting prices. In these cases, prices tend to be lower, at the farmer level, when rainfall is more abundant because the supply of products tends to increase, and demand does not grow in the same proportion.

Keywords: Semi-arid regime; Systematic occurrence of droughts; Economic risks; Rainfall irregularities; Sustainable productivity

Código JEL: Q01; O18

José de Jesus Sousa Lemos¹

ORCID: [0000-0002-2169-1360](https://orcid.org/0000-0002-2169-1360)

Filomena Nádia Rodrigues

Bezerra²

ORCID: [0000-0002-4496-8190](https://orcid.org/0000-0002-4496-8190)

Elizama Cavalcante de Paiva³

ORCID: [0000-0002-5917-8060](https://orcid.org/0000-0002-5917-8060)

Antônia Leudiane Mariano

Ipolito⁴

ORCID: [0000-0002-4625-4474](https://orcid.org/0000-0002-4625-4474)

¹ Doutor em Economia Rural pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Professor Titular e Coordenador do Laboratório do Semiárido da Universidade Federal do Ceará (UFC)

lemos@ufc.br

² Doutora em Economia Rural (UFC)

Professora Adjunta (UFC)

nadiabezerra@ufc.br

³ Doutoranda em Economia Rural (UFC)

elizamapaiva@yahoo.com.br

⁴ - Doutoranda em Economia Rural (UFC)

leudianemipolito@gmail.com

Recebido em: 11/03/2023

Aceito em: 27/03/2024

INTRODUÇÃO

As condições agressivas do clima semiárido brasileiro são caracterizadas, principalmente, por uma insolação média de 2800 horas/ano. Não obstante ser relativamente mais chuvoso do que outras regiões semiáridas do planeta, com média anual de precipitação de chuvas em torno de 800 mm, apresenta uma evaporação média anual de aproximadamente 2000 mm. As precipitações de chuvas estão concentradas nos primeiros três a quatro meses dos anos, as temperaturas são elevadas com médias anuais de 23°C a 27°C, e umidade relativa do ar relativamente baixa (50%), em geral, com baixa amplitude térmica. Essa sinergia de eventos propicia a ocorrência de balanços hídricos quase sempre negativos e se torna desfavorável ao desenvolvimento das práticas agrícolas, especialmente quando realizadas sem o uso de tecnologias adequadas e adaptadas a essas dificuldades (SUDENE, 2021; Lemos et al., 2020; Salviano, 2021). Nessa perspectiva, cabe mencionar que, as águas pluviais e subterrâneas são as principais fontes de irrigação para as terras agrícolas nas regiões semiáridas. Essa realidade é apontada por Todmal (2022), que analisando a região de Maharashtra, Índia, observou que essas águas abastecem aproximadamente 80% das terras agrícolas, e que as áreas cultivadas estão ligadas a variáveis climáticas e hidrológica, as quais determinam, consideravelmente, as produtividades agrícolas das culturas de sequeiro e irrigadas.

Outra característica deste clima é instabilidade na precipitação pluviométrica tanto espacial como temporal (Carvalho, 2014; Lemos, 2020; Melo, et al., 2019; Mohammed; Scholz, 2019; Salviano, 2021). Nos casos mais comuns de escassez de água, provocados pela ocorrência sistemática de secas, a utilização de tecnologias que neutralizam, ou pelo menos mitigam, os impactos das irregularidades pluviométricas são raras. Estes fatos tornam as práticas agrícolas sob este regime climático difíceis na sua condução e sujeitas a riscos econômicos, sociais e ambientais (Beyer et al., 2016; Costa Filho, 2019; Fischer et al., 2002; Pereira, 2018; Rosenzweig; Hillel, 2005; Thornton et al., 2008).

O Semiárido é definido internacionalmente pela relação entre a precipitação de chuvas e a evapotranspiração potencial, sendo aferida pelo índice de aridez (IA). A IA em regiões semiáridas varia entre 0,20 e 0,50 (Köppen; Geiger, 1936; Köppen, 1918; Thornthwaite, 1948). Em geral, as atividades agrícolas dependem exclusivamente da pluviosidade na região semiárida brasileira. As gestões do solo e da água nessas áreas são os principais constrangimentos à manutenção de produções e produtividades sustentáveis das culturas (Mohinder Singh et al., 2017; Nyambe, 2024; Rockstrom et al., 2010; Wani, et al., 2009).

Levando-se em consideração os agricultores do Ceará, observa-se que, no geral, não utilizam irrigação e sementes geneticamente modificadas adaptadas às condições hostis do regime semiárido, o que torna difíceis e menos rentáveis as práticas agrícolas neste estado. As lavouras cultivadas no semiárido nordestino são principalmente arroz, feijão, mandioca e milho (IBGE, 2019). Essas culturas, ajudam no fornecimento da segurança alimentar, provêm oportunidades de ocupação e geram renda monetária aos agricultores familiares, que se constituem na grande maioria dos produtores dessas lavouras nas zonas semiáridas do estado do Ceará (Bezerra, 2022; Costa Filho, 2019; Fischer et al., 2002; Hillel, 2005; IBGE, 2019; Pereira, 2018; Rosenzweig; Hillel, 2005; Salviano, 2021; Thornton et al., 2008; Wani et al., 2009).

A definição dos municípios que fazem parte oficialmente da região semiárida brasileira é feita pelo Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (CONDEL/SUDENE) que, de tempos em tempos, revê os critérios de aferição da composição política da região semiárida brasileira, podendo incluir novos municípios, ou remover outros que faziam parte de definições anteriores. Tendo em vista os critérios estabelecidos, a nova definição oficial do Semiárido brasileiro atinge todos os nove estados do Nordeste e

municípios dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, situados na região Sudeste do Brasil. De acordo com a última definição do CONDEL/SUDENE, que ocorreu em janeiro de 2024, a região do semiárido brasileiro conta atualmente com 1.477 municípios, acréscimo de 50 localidades dado a penúltima definição ocorrida em 2021 (SUDENE, 2024).

A instabilidade pluviométrica que se constitui em regra no regime climático semiárido do Brasil, interfere nos resultados físicos e econômicos observados no cultivo das principais lavouras, sobretudo as cultivadas em regime de sequeiro. Em razão desses fundamentos, esta pesquisa buscou entender como essa instabilidade pluviométrica, que é uma variável exógena e totalmente imprevisível às decisões dos agricultores, afeta a sua capacidade de previsão e, em decorrência, do planejamento para o cultivo dessas lavouras no futuro no estado do Ceará. Para isso, este estudo tem os seguintes objetivos: i) aferir as instabilidades associadas às pluviometrias e às variáveis que definem as produções de arroz, feijão, mandioca e milho no estado do Ceará, entre os anos de 1945 e 2020; ii) estimar modelos que poderiam ser utilizados para elaborar as projeções de áreas colhidas, produtividades e preços médios das culturas selecionadas entre 1945 e 2020; e iii) aferir o impacto da pluviosidade nos modelos de previsão estimados para a produção das culturas agrícolas em análise.

O artigo, além desta introdução, que apresentou o problema de pesquisa, principais abordagens trazidas pela literatura acerca da temática e os objetivos propostos, está organizado em mais cinco seções. Segunda seção, apresenta o referencial teórico que embasa a presente pesquisa acerca da literatura sobre instabilidade climática no semiárido, a terceira contextualiza e descreve os procedimentos metodológicos utilizados. Quarta seção apresenta os principais resultados e a quinta seção expõe a discussão acerca dos principais resultados encontrados nesta pesquisa, finalizando com as considerações finais.

REFERENCIAL TEÓRICO

A literatura ressalta que as regiões classificadas como semiáridas possuem determinadas características que as definem acerca dos atributos de ordem climática, hídrica e fitogeográfica, como: reduzidos níveis de umidade, escassez de chuvas anuais, irregularidade temporal e espacial das precipitações; carência hídrica prolongada; problemas nos solos; e ausência de rios perenes (Ab'sáber, 1999). Por ser um tipo de clima definido também por forte insolação, elevadas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, bem como irregularidade e concentração das precipitações, de modo geral, apresenta uma insuficiência nas reservas de águas em torno de três (3) a quatro (4) meses (Moura *et al.*, 2007).

Em sua definição, a região do semiárido é caracterizada de acordo com o Índice de Aridez (IA), critério estabelecido pelas Nações Unidas (UNESCO, 1979), no qual pode ser identificado como a razão entre a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração potencial que é definida evaporação da água dos solos e dos espelhos de água pela incidência direta dos raios solares, pela ação dos ventos e pelo processo natural de transpiração das vegetações, causada pela intensidade do calor. No intuito de classificar o IA para as diferentes regiões, o Quadro 1 permite distinguir os critérios estabelecidos por Thornthwaite (1941), ajustado por Penman (1953).

Quadro 1: Classificação do Índice de Aridez (IA)

Categorias climáticas	Índice de Aridez (IA)
Hiper árido	$IA \leq 0,05$
Árido	$0,05 < IA \leq 0,2$
Semiárido	$0,2 < IA \leq 0,5$
Subúmido seco	$0,5 < IA \leq 0,65$
Subúmido úmido	$0,65 < IA < 1,0$
Úmido	$IA \geq 1,0$

Fonte: *United Nations Environment Management Group* (UNITED NATIONS, 2011).

Essa definição é adotada mundialmente. Contudo, no caso brasileiro, para os municípios serem oficialmente reconhecidos como parte desse regime climático necessitam atender a pelo menos um dos três critérios técnicos estabelecidos pela Resolução nº 150 de 13 de dezembro de 2021, determinados pelo Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2021). Os quais podem ser definidos como:

- i) Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm;
- ii) Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50; e
- iii) Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, adotando todos os dias do ano, e computado nos últimos 30 anos.

Considerando esses critérios, a última revisão do mapa do semiárido, realizada pelo Conselho Deliberativo (CONDEL) da SUDENE, politicamente o semiárido brasileiro passou a contar com 1.477 municípios, localizados nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Maranhão, Rio Grande do Norte, Sergipe, Piauí, Minas Gerais e Espírito Santo. Dos 184 municípios do estado do Ceará, 175 são atualmente reconhecidos pelo Governo Federal como estando inseridos neste regime climático. Em decorrência dessa classificação se beneficiam dos efeitos resultantes como o acesso diferenciado às políticas públicas, como o Fundo Constitucional do Nordeste (FNE), por exemplo. O Ceará é o estado brasileiro com a maior área relativa e população dentro deste regime climático, no qual é difícil realizar atividades agrícolas, tanto em termos de produção vegetal como de criação de animais domésticos (SUDENE, 2024).

Nessa região, as atividades agropecuárias estão sujeitas a altos riscos de perdas de safra devido à alta variabilidade, tanto temporal como espacial, das precipitações pluviométricas, com seguidos anos de seca, além do predomínio de solos de aptidão restrita para lavouras, devido ao elevado processo de depredação dos horizontes (Duque, 1980). Assim, os prolongados períodos de secas, a qualidade e as condições de acesso à água na região, impactam negativamente os sistemas produtivos praticados, limitando a diversidade de produtos produzidos e a relação desses produtores com o mercado. Contudo, o modelo agrícola praticado na região, ainda contribui com uma parcela considerável, senão a única, da renda de grande parte da população rural do semiárido nordestino (Lemos; Bezerra, 2024; Lemos, 2020; Salviano, 2021).

De acordo com o estudo de Ferreira e Mello (2005), os períodos de precipitação das regiões Norte do Nordeste brasileiro sofrem influência direta do fenômeno *El Niño*, Oscilação Sul (ENOS), que afeta diretamente a produtividade das culturas, já que boa parte destas culturas

são cultivadas em sistemas de sequeiro, dependentes da quantidade, da distribuição e da intensidade das chuvas.

Em decorrência da instabilidade climática do Nordeste, os produtores da região acabam ficando vulneráveis ao colapso do sistema produtivo e à destruição dos meios de produção acumulados às custas de grandes sacrifícios, sendo esta condição intensificada pela ocorrência dos períodos de seca. Magalhães (1988), na Bahia, e Pereira e Cuellar (2014), no Ceará, relataram que nos anos de ocorrência do *El Niño*, as perdas agrícolas em seus estados foram potencializadas, devido às secas serem mais intensas.

A produção agrícola no Nordeste e, em especial, no Ceará, possui grande participação das unidades agrícolas familiares (UAF) com produção, principalmente, de arroz, feijão, mandioca e milho. Boa parte da produção é voltada para o autoconsumo e apenas uma pequena parte, em geral, sendo voltada para o mercado e sofre com a restrição oriunda da escassez de recursos naturais disponíveis, sobretudo da água. Portanto, a água pode ser apontada como elemento definidor para o desenvolvimento da agricultura de uma região e no semiárido, a chuva se caracteriza como fonte de renda, de produtividade e de esperança para o sertanejo.

Gouvêa (2008) destaca que as adversidades climáticas, de difícil previsibilidade em médio e longo prazo, como geadas, secas, chuva excessiva ou granizo, aumentam o risco associado à agricultura. Logo, a agricultura se mostra mais sensível às instabilidades climáticas, uma vez que depende diretamente dos fatores edafoclimáticos. Vários autores destacam que apesar de todos os avanços tecnológicos que ajudam, facilitam a vida do agricultor, dispor de condições climáticas favoráveis ainda é um fator decisivo para obter bons níveis de produtividade agrícola (Deschênes; Greenstone, 2007).

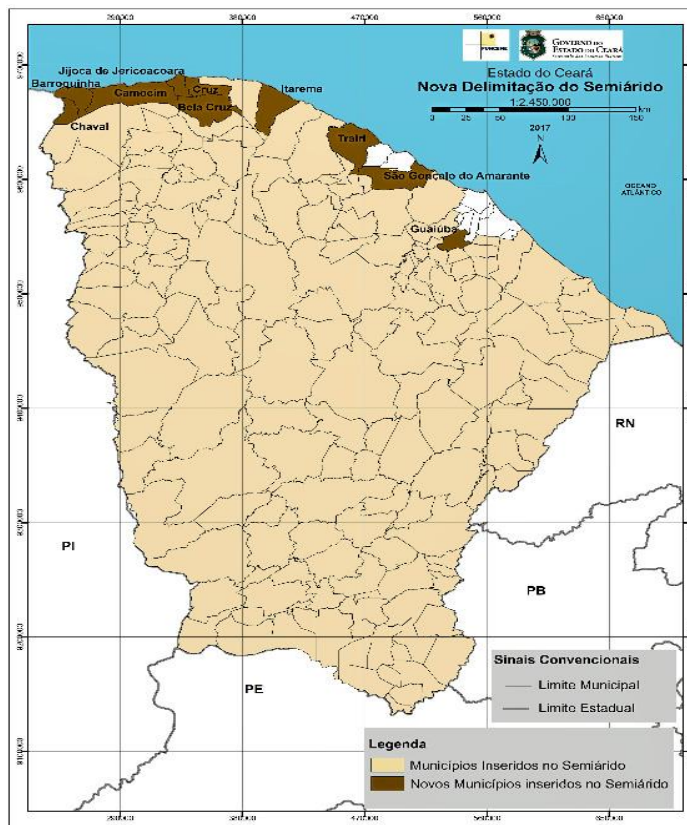
Em análise ao estado da Paraíba, Lessa (2023) identificou que o estado exibiu alta variabilidade pluviométrica ao longo de 120 anos analisados, em que 40 anos foram de seca, 49 normais e 31 chuvosos. Embora tenha apresentado esse cenário, foi constatada a existência de resiliência dos agricultores que cultivam lavouras em sistema de sequeiro frente às instabilidades pluviométricas ocorridas na Paraíba no período de 1945 a 2020. O estudo evidenciou que a chuva interfere na previsão da produtividade agregada, entretanto não causa interferência direta na previsão da renda agregada por hectare das lavouras analisadas.

Esses estudos reforçam que a variabilidade pluviométrica tem papel decisivo na produção agrícola, uma vez que, mesmo com as dificuldades impostas pelo semiárido ao produtor rural, é possível verificar uma incrível capacidade de adaptação às adversidades das instabilidades climáticas intrínsecas a região.

METODOLOGIA

O Ceará está quase totalmente reconhecido politicamente como inserido na região semiárida, com 175 dos 184 de seus municípios pertencentes à região, tal como definido na última resolução do Conselho Deliberativo da SUDENE. Em termos físicos, o Ceará detém aproximadamente 95,10% do seu território, oficialmente reconhecido como fazendo parte da região semiárida do Nordeste (SUDENE, 2024). Na Figura 1, apresenta-se ilustração da participação oficial dos municípios do Ceará no semiárido em 2021.

Figura 1: Limites do Semiárido cearense



Fonte: FUNCEME (2022).

Fontes dos dados utilizados na pesquisa

Para a realização da pesquisa, utilizam-se dados de precipitação de chuvas recolhidos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2022). As informações relativas às áreas colhidas, produtividade e preços das culturas foram recolhidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que fornece dados sobre a Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2020). O período de análise corresponde ao lapso de tempo compreendido entre os anos de 1945 e 2020. Foram selecionadas culturas alimentares de arroz, feijão, mandioca e milho, porque são cultivadas pela maioria dos agricultores do Ceará, conforme pode ser conferido através dos dados disponibilizados pelo Censo Agrícola de 2017 (IBGE, 2017). Os preços foram corrigidos para valores de 2020, usando o Índice Geral de Preços como indexador (IGP-DI). As variáveis selecionadas para este estudo estão mostradas no Quadro 2.

Quadro 2: Descrição das variáveis selecionadas no estudo para o t-ésimo ano

Variáveis	Descrição	Fontes
Endógenas	A_t = área colhida (ha). R_t = Produtividade ($Kg \cdot ha^{-1}$).	PAM 2020 (IBGE, 2020)
Exógenas	P_t = Preços médios ($R\$.Kg^{-1}$) C_t = Precipitação anual de chuvas (mm).	PAM 2020 (IBGE, 2020); FUNCEME (2022)

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados da pesquisa.

Aferição das instabilidades

As estabilidades/instabilidades das variáveis selecionadas foram medidas pelo Coeficiente de Variação (CV), que afere a relação percentual entre o desvio padrão e a média de uma variável aleatória. Na prática, o CV mede o grau de homogeneidade ou de heterogeneidade da distribuição dos valores de uma variável aleatória em torno da sua média. Pode-se assumir que o CV afere a instabilidade/estabilidade da forma como se distribuem as observações de uma variável aleatório no entorno do seu valor esperado. Quanto maior for a magnitude do CV, mais instável, ou mais heterogênea, será a distribuição dos valores observados da variável aleatória em torno da sua média. Assim, o CV também pode ser interpretado como medida de risco e tem a vantagem adicional de comparar as variáveis aferidas em diferentes unidades de medidas (Garcia, 1989; Gomes, 1985; Santos; Dias, 2021; Markowitz, 1952).

Vale a pena esclarecer que para utilizar o CV, como medida de estabilidade ou instabilidade de uma distribuição, é necessário definir amplitudes para os seus valores críticos. Nesta concepção, Gomes (1985) criou os limites para a classificação dos CV que são estabelecidos como descrito no Quadro 3.

Quadro 3: Classificação dos Coeficientes de Variação (CV) de acordo com as suas amplitudes

Classificação do CV	Amplitudes do CV
Baixo	$CV < 10\%$
Médio	$10\% \leq CV < 20\%$
Alto	$20\% \leq CV < 30\%$
Muito alto	$CV \geq 30\%$

Fonte: Gomes (1985).

Modelos utilizados para fazer as projeções das variáveis de decisão na produção de culturas de sequeiro no estado do Ceará

Na análise de séries cronológicas, alguns conceitos são relevantes para a sua compreensão e para criar modelos de previsão. Nesta concepção, vale a pena salientar que um processo aleatório ou estocástico é configurado como um conjunto de observações de variáveis aleatórias ordenadas no tempo, que exibem dependência em série e que é conhecido como série temporal (Gujarati; Porter, 2011; Wooldrige, 2013). Para estes autores, em geral, um processo estocástico será chamado estacionário se a sua média e a variância forem constantes ao longo do tempo e a covariância entre as variáveis não dependerá do tempo.

Assim, considerando as séries temporais representadas pela variável aleatória Y_t , o seu valor previsto (Y_p) será diferente do valor observado, devido à ocorrência de fatores aleatórios (ε_t), ao longo do seu percurso. Esta informação pode ser resumida na Equação (1).

$$Y_t - Y_p = \varepsilon_t; \text{ ou, semelhantemente, } Y_t = Y_p + \varepsilon_t \quad (1)$$

Este estudo visa avaliar o impacto da precipitação anual de chuvas sobre a capacidade de previsão das variáveis: áreas colhidas, produtividades e preços de arroz, feijão, mandioca e milho no Ceará no período de 1945 a 2020. Assume-se que estes impactos irão ocorrer nos ruídos gerados no modelo de previsão, afastando ou aproximando o valor observado do valor

projetado. Assim, assume-se que o termo aleatório ε_t pode ser representado de acordo com o que é mostrado na Equação (2):

$$\varepsilon_t = f(C_t) \quad (2)$$

A substituição deste valor de ε_t a Equação (1) produz o resultado que será testado nesta pesquisa:

$$Y_t = Y_p + f(C_t) \quad (3)$$

A opção deste estudo para encontrar os valores projetados de Y_t foi adotar o modelo Autorregressivo integrado e média móvel (ARIMA), desenvolvido por Box e Jenkins (1976). A seguir apresenta-se uma breve explanação do método ARIMA, no que se aplica a este estudo.

Modelos ARIMA

Este modelo visa captar o comportamento de uma variável aleatória que tem valores distribuídos sob a forma de séries temporais. Este modelo é adequado para séries temporais estacionárias, ou variáveis cujas médias, variâncias e auto-covariâncias são constantes ao longo do tempo (Gujarati; Porter, 2011; Wooldrige, 2013).

Admite-se que a série cronológica Y_t pode ser representada pela Equação (4):

$$Y_t = \mu + \sum \varphi_k u_{t-k} = \mu + \varphi(B)u_t \quad (4)$$

Na Equação (4) a definição do filtro linear (φ) está representada da seguinte forma:

$$\varphi(B) = \theta(B)/\phi(B) \quad (5)$$

A Equação (5) pode ser evidenciada a partir da definição dos polinômios descritos a seguir:

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B_1 - \theta_2 B_2 - \dots - \theta_q B_q \text{ e } \phi(B) = 1 - \phi_1 B_1 - \phi_2 B_2 - \dots - \phi_p B_p \quad (5A)$$

Na Equação (5A) Box *et al.* (2016) esclarecem que: 1) $\phi(B)$ será chamado um operador autorregressivo e considerado estacionário se as raízes de $\phi(B) = 0$ estiverem fora do círculo unitário. 2) $\varphi(B)$ será chamado um operador autorregressivo generalizado, ou seja, um operador não estacionário com " d " raízes se $\varphi(B) = 0$ for igual à unidade; e 3) $\theta(B)$ será chamado o operador de média móvel. Assume-se que pode ser passivo de inversão e que as raízes de $\theta(B) = 0$ estão fora do círculo unitário.

Definindo (\tilde{Y}_t) como o valor esperado de Y_t , então pode-se escrever que: $\tilde{Y}_t = Y_t - \mu_t$

Será possível obter a sua transformação, na série temporal, da forma que se mostra na Equação (6):

$$\phi(B)\tilde{Y}_t = \theta(B)u_t \quad (6)$$

Para a definição da Equação (6), o termo aleatório " u_t " deve ser "ruído branco" e, para tanto precisa observar as seguintes características, segundo Cochrane (1997): $E(u_t) = 0$; $E(u_t^2) = \sigma_u^2 < \infty$; $E(u_t + u_{t+k}) = 0$, quando $k = \pm 1, \pm 2, \dots$

Com base neste conjunto de informações, a Equação (6) pode ser reescrita, como o modelo de Box e Jenkins (1976), e é conhecida como média autorregressiva de ordem p e a média móvel de ordem q , ou ARMA(p,q). Este resultado é mostrado na Equação (7):

$$\tilde{Y}_t = \theta(B)\phi^{-1}(B)u_t \quad (7)$$

Como já foi discutido neste texto, para utilizar a metodologia Box-Jenkins, é necessário que a série temporal seja estacionária. Quando isso não acontece, a sua estacionaridade deve ser buscada através da realização de diferenciações sobre a série cronológica. Em geral, com uma, e até no máximo três diferenciações, é possível transformar em série estacionária aquela que se demonstrou não ser estacionária (Gujarati; Porter, 2011; Wooldridge, 2013, Paiva *et al.*, 2022).

Os passos para prever os valores de uma série cronológica através do modelo Box-Jenkins são os seguintes: i) Examinar as séries quanto à estacionaridade. Esta etapa pode ser examinada através da medição da função de autocorrelação da amostra (ACF) e da função de autocorrelação parcial da amostra (PACF) ou através da realização de uma análise da raiz unitária. ii) Caso a série temporal não seja estacionária, será necessário realizar a diferenciação de uma ou mais vezes até se atingir a estacionaridade (Box, Jenkins, 1976; Gujarati; Porter, 2011; Greene, 2012).

Para melhor buscar os melhores ajustamentos, esta pesquisa utilizou alguns critérios. Um deles é critério da parcimônia no que concerne ao número de parâmetros estimados. Quanto menor for esse número, melhor será o ajuste do modelo. Além disso, foram utilizados os seguintes critérios: coeficiente de determinação (R^2); percentagem do erro médio absoluto (MAPE); estatística Ljung-Box Q (testa se os resíduos gerados no modelo ajustado são "ruídos brancos") e coeficiente de correlação de Pearson entre a série observada e a série projetada pelos modelos estimados. Este coeficiente deve ser elevado (próximo de um) e estatisticamente diferente de zero (Box; Jenkins, 1976; Box *et al.*, 2016; Greene, 2012; Wooldridge, 2013).

Relação entre os modelos de previsão para as culturas de sequeiro e a pluviosidade no estado do Ceará

Nesta pesquisa supõe-se que, no cenário de previsão das áreas colhidas, produtividades e preços das culturas selecionadas (arroz, feijão, mandioca e milho), no semiárido que tem como características, como se discutiu, a instabilidade pluviométrica, os choques ξ_t podem ser afetados por uma variável exógena: a precipitação anual de chuvas (C_t).

Assim, o ruído ξ_t associado às projeções das áreas colhidas, produtividades e preços de arroz, feijão, mandioca e milho entre 1945 e 2020, como mostrado na equação (2), é afetado pela pluviometria anual, tal como está mostrado na Equação (8):

$$\varepsilon_t = \lambda_0 + \lambda_1 C_t + v_t \quad (8)$$

Na Equação (8), o coeficiente λ_0 representa o parâmetro linear; λ_1 é o coeficiente angular que, se não for estatisticamente diferente de zero, implicará que os resíduos associados às projeções não são afetados pela pluviometria. Isso significa que as projeções das variáveis podem ser feitas utilizando o modelo da forma em que foi estimado. Em caso de λ_1 ser estatisticamente diferente de zero (independentemente do sinal), significa que o modelo estimado para fazer as projeções das variáveis tem que levar este fato em consideração. Vale ressaltar que se os erros induzidos pela pluviometria alterarem para mais os valores projetados pelos agricultores, serão bem vindos. Por outro lado, se os erros induzidos pelas pluviometrias forem negativos, o que significa que os agricultores terão resultados aquém daqueles que esperavam, esses erros lhes serão desastrosos. Isso porque esperando colher uma determinada área, ter uma expectativa de produtividade ou de preços aquém daquelas projetadas, em função da deficiência pluviométrica, lhes serão frustrantes. O termo aleatório v_t , por hipótese, é também endogenamente "ruído branco". Sendo esta hipótese verdadeira os coeficientes λ_0 e λ_1 podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários – MQO (Wooldridge, 2013).

RESULTADOS

Inicialmente, foram estimados os valores mínimos, máximos, médios, bem como os coeficientes de variação (CV) das áreas colhidas, produtividades e preços de arroz, feijão, mandioca e milho no Ceará para o período de 1945 a 2020. Estes resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores mínimos, máximos, médios e Coeficientes de Variação (CV) das variáveis estudadas na pesquisa

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)
Precipitação anual de chuvas (mm)	286,90	1773,40	777,76	33,56
Área colhida com arroz (ha)	5250,00	79993,00	40532,01	45,34
Produtividade do arroz (kg.ha ⁻¹)	409,68	3130,82	1939,54	33,87
Preço médio do arroz (R\$.kg ⁻¹)	0,93	6,25	2,85	43,94
Área colhida com feijão (ha)	74775,00	765654,00	381713,85	42,14
Produtividade do feijão (kg.ha ⁻¹)	116,85	608,22	340,80	40,44
Preço médio do feijão (R\$.kg ⁻¹)	2,25	15,96	5,10	54,43
Área colhida com mandioca (ha)	32283,00	176000,00	89810,80	39,75
Produtividade da mandioca (kg.ha ⁻¹)	3356,92	16905,08	10178,85	32,25
Preço médio da mandioca (R\$.kg ⁻¹)	0,27	1,26	0,44	51,15
Área colhida com milho (ha)	78460,00	726777,00	433491,71	39,21
Produtividade do milho (kg.ha ⁻¹)	120,00	1254,14	646,66	42,30
Preço médio do milho (R\$.kg ⁻¹)	0,55	3,68	1,76	41,53

Fonte: Elaborada pelos autores, com base nos dados da FUNCEME (2022) e PAM-2020 (IBGE, 2020).

Nota: Os preços foram deflacionados com o IGP-DI, ano base 2020.

Das evidências apresentadas na Tabela 1, pode-se inferir que a elevada instabilidade observada na precipitação anual no Ceará entre 1945 e 2020, capturada pelo CV foi da ordem de 33,56%, classificada como "muito elevada" na escala desenhada por Gomes (1985). Observa-se que esta instabilidade pluviométrica foi transmitida, em sinergia, para todas as variáveis estudadas, todas classificadas com níveis muitos altos de instabilidade. Com efeito, os CV das variáveis definidoras da produção de arroz, feijão, mandioca e milho no Ceará, entre 1945 e 2020 oscilaram entre 32,25% para a produtividade anual da mandioca e 54,43% para o preço médio do feijão.

Modelos ARIMA estimados para realizar as previsões

Os resultados encontrados nas estimativas dos parâmetros e das características estatísticas que aferem as robustezes dos modelos de previsão estimados estão mostrados na Tabela 2. Dessas evidências depreende-se que todas as séries estudadas não eram estacionárias e que precisaram de uma diferença ($d = 1$) para atingirem essa característica. Observa-se que todos os modelos são parcimoniosos no que diz respeito ao número de parâmetros estimados.

As estatísticas Ljung Box foram estatisticamente não significativas, pelo menos com 10% de erro. Isto sugere que os ruídos gerados em todos os modelos ajustados são endogenamente aleatórios. Em todos os modelos estimados, observou-se que os parâmetros lineares não eram estatisticamente diferentes de zero. Das evidências apresentadas na Tabela 2, também se observa que, com exceção do modelo estimado para a previsão do preço da mandioca (MAPE = 101,726%), as percentagens dos erros médios absolutos dos demais modelos apresentaram magnitudes relativamente baixas, oscilando de 15,476%. Nos demais casos a MAPE variou de 15,476%, no modelo estimado para prever preços de feijão a 48,769% no modelo construído para prever as produtividades de milho.

Embora o ajuste estimado para os preços da mandioca tenha sido esse, cujos resultados estão na Tabela 1, deve-se ter cautela na utilização destas estimativas para fazer previsões neste caso em face do elevado MAPE estimado. O estudo também estimou os coeficientes de correlação entre os valores observados nas séries originais e os previstos nos modelos gerados. Todas estas correlações foram estatisticamente diferentes de zero, com margem de erro menor do que 1%.

Tabela 2: Modelos adaptados às previsões de áreas colhidas, rendimento e preços de Arroz, feijão, mandioca e milho no Estado do Ceará, entre 1945 e 2020

	Variáveis		Área	Produtividade	Preço
	Modelos estimados		ARIMA (0,1,1)	ARIMA (0,1,1)	ARIMA (2,1,2)
Arroz	AR	Lag1	0,000	0,000	0,598 *
		Lag2			-0,622*
	MA	Lag1	0,455*	0,643*	0,997*
		Lag2			-0,578*
	R ²		0,638	0,579	0,771
	Ljung Box		14,857 ^{NS}	10,765 ^{NS}	20,049 ^{NS}
	MAPE		27,059	24,334	15,476
	R Pearson		0,803*	0,764*	0,880*
Feijão	Variáveis		Área	Produtividade	Preço
	Modelos estimados		ARIMA (0,1,1)	ARIMA (0,1,1)	ARIMA (2,1,2)
	AR	Lag1	0,000	-0,261**	0,670*
		Lag2			-0,433*
	MA	Lag1	0,725	0,678*	1,295
		Lag2			-0,679
	R ²		0,481	0,342	0,424
	Ljung-Box		8,149 ^{NS}	16,278 ^{NS}	13,836 ^{NS}
MAPE		32,943	35,309	32,304	
R Pearson		0,701*	0,597*	0,671*	
Mandioca	Variáveis		Área	Produtividade	Preço
	Modelos estimados		ARIMA (0,1,1)	ARIMA (0,1,1)	ARIMA (2,1,2)
	AR	Lag1	0,847*	0,000	0,347**
		Lag2			
	MA	Lag1	0,000	0,439*	0,741
		Lag2			
	R ²		0,728	0,700	0,433
	Ljung Box		17,298 ^{NS}	8,323 ^{NS}	24,103 ^{NS}
MAPE		16,040	15,785	101,726	
R Pearson		0,853*	0,842*	0,601*	
Milho	Variáveis		Área	Produtividade	Preço
	Modelos estimados		ARIMA (0,1,1)	ARIMA (2,1,0)	ARIMA (0,1,1)
	AR	Lag1	0,000	-0,789*	0,000
		Lag2		-0,438*	
	MA	Lag1	0,661*	0,000	0,517*
		Lag2			
	R ²		0,475	0,074	0,620
	Ljung Box		10,817 ^{NS}	22,067 ^{NS}	0,662 ^{NS}
MAPE		33,342	48,769	17,040	
R Pearson		0,698*	0,388*	0,792*	

Fonte: Valores estimados a partir dos dados do IBGE (2020).

Nota: *Sign. a 1%; NS = não significativa a pelo menos 15% de erro.

Relação entre os resíduos gerados nos modelos e a pluviosidade

Na Tabela 3, mostram-se os resultados encontrados nas estimativas das relações entre a precipitação e os resíduos estimados em cada um dos modelos criados para as previsões das variáveis estudadas. Observa-se que nos casos dos resíduos estimados para as previsões das áreas colhidas, e preços da mandioca, bem como para os preços do arroz, as precipitações anuais de chuvas não influenciaram significativamente, com pelo menos 10% de erro, os resíduos gerados nos modelos. Nas demais variáveis, em todas as culturas estudadas, confirmaram-se as expectativas feitas na elaboração da pesquisa, de que as chuvas impactam os resíduos gerados nas previsões dos modelos, com probabilidades de erros inferiores a 10%.

Tabela 3: Resultados encontrados para aferir as relações entre os resíduos estimados nos modelos ajustados para prever as variáveis de definição das culturas e as precipitações anuais de chuvas, entre os anos de 1945 e 2020 no Ceará

Culturas	Variáveis (Resíduo)	Constantes		Coef. de regressão		R ² Ajustado
		Coef.	Sig.	Coef.	Sig.	
Arroz	Área colhida	-12205,024	0,002	15,669	0,001	0,123
	Produtividade e Preço médio	-482,001	0,001	0,672	0,000	0,156
		0,022	0,917	-7,577E-005	0,768	0,001
Feijão	Área colhida	-140620,973	0,001	183,044	0,000	0,155
	Produtividade e Preço médio	-96,334	0,018	0,119	0,017	0,063
		2,056	0,004	-0,003	0,002	0,124
Mandioca	Área colhida	-3282,076	0,630	4,105	0,621	0,030
	Produtividade e Preço médio	-1052,990	0,110	1,367	0,091	0,039
		0,025	0,692	-3,264E-005	0,669	0,030
Milho	Área colhida	-177134,947	0,000	232,864	0,000	0,239
	Produtividade e Preço médio	-330,204	0,000	0,457	0,000	0,184
		0,469	0,003	-0,001	0,003	0,114

Fonte: Elaborada pelos autores, com base nos dados da FUNCEME (2022) e IBGE (2020).

Como apresentado nos procedimentos metodológicos, a não influência estatística das chuvas sobre os resíduos gerados nos modelos de previsão, significa que esses modelos estimados podem ser utilizados para este objetivo, na forma em que foram estimados, tendo em vistas que os erros cometidos na previsão não são influenciados pelas pluviometrias observadas. Contudo, para fazer essas projeções, quando as chuvas induzem os erros de previsão, o modelo gerado precisa incorporar essa informação. Na Tabela 4, mostram-se os valores médios dos erros acumulados induzidos pelas pluviometrias, positivos e negativos, bem como as suas respectivas probabilidades de ocorrências no período analisado. Também se verificam as médias das pluviometrias observadas nos períodos em que se acumularam os erros positivos e negativos de previsões, influenciados pelas pluviometrias.

Tabela 4: Probabilidades de ocorrências das médias das pluviometrias, bem como dos erros de previsão das áreas colhidas, produtividades e preços induzidos pela instabilidade temporal das precipitações de chuvas ocorridas no Ceará entre 1945 e 2020

Erros de previsões das variáveis	Erros negativos acumulados			Erros positivos acumulados		
	Prob. (%)	Erro Médio	Pluviom. Média	Prob. (%)	Erro Médio	Pluviom. Média
Área colhida arroz (ha)	40,8	2.201,52	638,43	59,2	4.212,04	1.047,74
Produtividade arroz (kg.ha ⁻¹)	30,3	82,22	594,91	69,7	188,15	997,25
Área colhida feijão (ha)	40,8	23.760,60	638,43	59,2	51.162,03	1.047,74
Produtividade feijão (kg.ha ⁻¹)	43,4	19,20	648,16	56,6	29,72	1.059,31
Preço do feijão (R\$.kg ⁻¹)	76,3	0,88	977,31	23,7	0,35	569,75
Produtividade mandioca (kg.ha ⁻¹)	42,1	173,27	643,54	57,9	386,90	1.053,32
Área colhida milho (ha)	42,1	27.277,36	643,54	57,9	68.146,31	1.053,32
Produtividade milho (kg.ha ⁻¹)	30,3	58,33	594,91	69,7	125,54	997,25
Preço milho (R\$.kg ⁻¹)	96,1	0,43	901,46	3,9	0,09	377,75

Fonte: Elaborada pelos autores, com base nos dados da FUNCEME (2022) e IBGE (2020).

DISCUSSÃO

As evidências encontradas na pesquisa mostram que as instabilidades observadas nas precipitações anuais de chuvas se manifestam em sinergia com aquelas observadas nas variáveis que definem as produções das lavouras de sequeiro, sobretudo as produtividades e as áreas colhidas. Essas instabilidades, como se depreenderam dos resultados mostrados na Tabela 1, são sempre muito altas, na classificação de Gomes (1985).

Diante do objetivo geral desta pesquisa, que foi aferir as instabilidades associadas às pluviometrias e às variáveis que definem as produções de arroz, feijão, mandioca e milho no estado do Ceará, entre os anos de 1945 e 2020. Foram aferidas as instabilidades (via Coeficiente de Variação) e as previsões das variáveis estudadas (por meio dos modelos autoregressivos, integrados e médias móveis (ARIMA)), respectivamente.

Os resultados expostos na seção anterior mostraram elevadas instabilidades pluviométricas que se transbordaram às variáveis definidoras das produções das culturas agrícolas, sobretudo das áreas colhidas e das produtividades, em todas as lavouras, que exibiram CV classificados como muito altos na escala definida por Gomes (1985).

Os resultados conseguidos com os modelos ARIMA, ajustados para todas as variáveis, foram parcimoniosos e, no geral apresentaram robustez, de um ponto de vista estatístico. Esses resultados têm comportamentos semelhantes aos encontrados na pesquisa de Lemos e Bezerra (2024), que estimaram modelos ARIMAX para aferir interferência dos preços nos erros de previsão das áreas colhidas, produtividade e preços médios de grãos produzidos no Ceará entre 1945 e 2020. Ali também ficou demonstrado que as instabilidades pluviométricas se rebatem nas instabilidades associadas às variáveis endógenas (áreas colhidas e produtividades

dos grãos) e nos preços médios. Nesse trabalho os autores trataram a variável pluviometria como exógena ao modelo ARIMAX.

Das evidências mostradas na Tabela 4, depreende-se que as probabilidades de ocorrência de erros negativos acumulados, induzidos pela instabilidade pluviométrica, varia de 30,3% a 96,1%. Portanto os riscos associados ao cultivo dessas lavouras no Ceará são muito elevados, como decorrência dessas instabilidades. Observa-se ainda que, com exceção das previsões dos preços, os riscos maiores de erros induzidos estão sempre associados aos níveis médios de precipitações menores. Nestes casos, constata-se que essas precipitações médias oscilaram de 594,91 mm a 648,16 mm. Por outro lado, quando os erros induzidos assumem valores positivos, as médias de chuvas (com exceção dos preços de feijão e milho) oscilam de 997,25mm a 1059,31 mm (Tabela 4).

Resultado instigante, mas perfeitamente justificável, é o que acontece com os erros induzidos pelas oscilações pluviométricas de previsão dos preços de feijão e milho. No caso do milho, a probabilidade do erro induzido ser negativo alcança 96,1%, e no caso do feijão a probabilidade de ocorrência desse erro induzido é de 76,3%. Observa-se que esses erros induzidos estão associados a níveis médios de precipitações de chuvas elevados: 901,46 mm no caso do milho e 977,31 mm no caso do feijão. Este fato pode ser justificado devido aos preços tenderem a ficar menores nas épocas de bonança climática, devido ao excesso de produção que gera excesso de oferta. Por outro lado, tenderão a ficar maiores nos períodos de chuvas mais escassas, em decorrência da escassez da produção que reduz a oferta e, em decorrência, eleva os preços dos produtos (Tabela 4).

Corroborando com a literatura da área, os resultados aqui apresentados vão ao encontro de pesquisas como a de Goyal et al. (2024), que analisaram os modelos ARIMA e ARIMAX sobre o efeito da variabilidade da precipitação e da temperatura na produção de trigo em Haryana, Índia; bem como Baig et al. (2023), que analisaram os efeitos de curto e longo prazos dos fatores meteorológicos e do avanço tecnológico nas produções de trigo e arroz, na Índia, referente ao período de 1990 a 2020. Os resultados revelaram a relação de longo prazo entre os fatores meteorológicos, tecnologias agrícolas e as produções de arroz e trigo. Quanto aos fatores meteorológicos, a precipitação pluviométrica e a emissão de carbono (CO₂) têm impacto positivo e negativo na produção de trigo e arroz, respectivamente, enquanto a temperatura média está negativamente relacionada com a produção de arroz e positivamente relacionada com a produção de trigo. Os autores apontaram que o governo deve adotar as medidas necessárias para alcançar uma produção sustentável e desenvolver sementes resilientes de arroz e trigo que sejam adequadas às condições agroclimáticas, a fim de mitigar a degradação ambiental.

Essa realidade apontada na Índia, tanto pela questão da instabilidade climática quanto pela necessidade de políticas públicas adaptadas à realidade regional, pode ser considerada muito similar ao caso brasileiro, sobretudo no estado do Ceará. Embora o cultivo de sequeiro no estado seja uma realidade que assola, majoritariamente, os agricultores do estado, ainda assim eles conseguem manter as atividades em andamento, apesar da grande dificuldade quanto à disponibilidade de recursos naturais e financeiros. Buscar sementes mais resistentes a instabilidade climática, adaptadas às condições da região, juntamente com a assistência técnica contínua e de qualidade, podem configurar como soluções mais eficientes e sustentáveis.

Nessa perspectiva, vale frisar o trabalho de Todmal (2023) que procurou compreender as tendências nas variáveis climáticas, hidrológicas e agrícolas nas cinco bacias hidrográficas do Semiárido de Maharashtra, Índia. Em seus resultados, o autor sintetiza que as mudanças promovidas pelo homem nos padrões de cultivo (sem um aumento considerável na

pluviometria/recursos hídricos) de um lado e a interferência climática do outro lado podem exacerbar a escassez regional de água e os desafios de segurança alimentar na região do Semiárido de Maharashtra, num futuro próximo.

Tradicionalmente, o Semiárido brasileiro tem sido apontado por inúmeras políticas públicas. Entretanto, ainda existe uma ampla lacuna para melhorias e aperfeiçoamentos com o intuito de viabilizar o dinamismo econômico à obtenção de resultados sociais mais satisfatórios. Nessa conjuntura, é importante frisar que algumas políticas e programas desempenham papéis cruciais, sobretudo no âmbito dos produtores rurais que residem no Semiárido cearense, como: o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar, criado pelo Decreto nº1.946 de 28 de junho de 1996. Este, por sua vez, desempenha o papel de fortalecer a produção de base familiar por meio de linhas de crédito em condições mais acessíveis, com taxas de juros abaixo das adotadas no mercado (Da Mata; Freitas; Resende, 2019).

Essa política pública tem se fortalecido na integração com outras políticas públicas que contribuem para o desenvolvimento rural sustentável, como: o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) – que estabelece elos entre a oferta de alimentos produzidos pela agricultura familiar e a demanda por alimentos para programas públicos (alimentação escolar, hospitais, distribuição gratuita de alimentos, cadeia, entre outros); o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) – que adota no mínimo 30% dos recursos destinados às prefeituras para alimentação escolar sejam utilizados na aquisição de produtos da agricultura familiar, priorizando os assentamentos de reforma agrária e comunidades tradicionais; o Seguro Safra e a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER). Além destes, o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) é focado em famílias residentes na zona rural dos municípios da região semiárida brasileira (Esmeraldo *et al.*, 2017; Aguiar *et al.*, 2019). Essas políticas e programas citados fazem parte de um amplo guarda-chuva que contempla a problemática relacionada ao Semiárido.

Cabe mencionar que o cenário é desafiador, uma vez que a população convive com secas recorrentes, que cada vez mais afetam a vida dos agricultores cearenses, sobretudo os que fazem parte da categoria familiar, que cultivam em sistema de sequeiro. Vale ressaltar a importância da formulação e execução de políticas adaptadas à realidade regional, priorizando a capacitação técnica dos agricultores e a disseminação de práticas mais sustentáveis. Como alternativa adicional à essa realidade que assola a vida dos produtores rurais no Semiárido, permite-se mencionar a adoção de práticas mais sustentáveis e com baixa emissão de carbono, nas quais são promovidas pelo Programa de Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC), no qual se encontra em sua segunda etapa (2021-2030), este por sua vez concede crédito rural para promover a agricultura de baixo carbono, estimulando práticas sustentáveis e adaptadas às condições locais. Embora o Programa não seja, majoritariamente, adotado pelos produtores rurais cearenses em comparação aos estados das regiões Centro-Oeste e Sudeste, ele pode representar uma alternativa futura para os agricultores que dependem exclusivamente da água da chuva para produzir. A ressalva que pode ser mencionada está ligada a concessão do crédito rural, pois nem todos os agricultores têm acesso a este benefício, para tanto as regras devem contemplar os diversos perfis para que esta seja uma política pública popularizada nas diferentes regiões, assim como no Nordeste, sobretudo no estado do Ceará, fruto de análise nesta pesquisa.

CONCLUSÕES

A pesquisa mostrou que a distribuição da precipitação de chuvas no Ceará, entre 1945 e 2020, é instável. O coeficiente de variação da distribuição da precipitação apresentou valores muito elevados, acima de 30%, reforçando o resultado que confirma a instabilidade pluviométrica no Ceará durante o período analisado. Esta instabilidade foi transbordada para todas as variáveis utilizadas para avaliar a produção de arroz, feijão, mandioca e milho no Ceará.

O estudo também gerou modelos robustos, de um ponto de vista estatístico, que podem se prestar às projeções dessas variáveis para o período estudado e para o porvir, em pelo menos cinco anos. Observou-se que a hipótese dos erros gerados nas previsões terem sido influenciados pelas pluviometrias anuais, apenas foi rejeitada para os casos dos preços de arroz, das áreas colhidas e dos preços de mandioca.

Com base nos resultados da pesquisa, pode-se inferir que no caso dessas variáveis de decisão, cujos resíduos não foram influenciados pela pluviometria, os modelos estimados podem ser utilizados, na forma em que foram criados, para fazer as previsões, embora se tenha cautela em relação às previsões para os preços da mandioca, tendo vista que o melhor modelo ajustado, neste caso, apresentou uma das suas estatísticas (MAPE) com valor elevado, o que não é desejável.

Nos casos em que se observou que a pluviometria influenciou na formação do erro de previsão, conclui-se ser difícil fazer as previsões para a produção agrícola do semiárido do Ceará, tendo em vistas que os erros induzidos que se mostram negativos provocarão inevitavelmente frustrações para os agricultores, porque as suas expectativas para as variáveis em que isso acontece, não impactadas para valores inferiores. Este fato aconteceu com probabilidades muito altas, entre 30,3% e 96,1%.

Em termos gerais, a principal conclusão deste estudo é que a instabilidade pluviométrica temporal observada no estado do Ceará entre 1945 e 2020 desempenhou um papel importante no comportamento das projeções das variáveis que definem a produção de arroz, feijão, mandioca e milho, lavouras majoritariamente cultivadas por agricultores familiares que tem a característica de serem de sequeiro: dependem exclusivamente das chuvas para se desenvolverem em todas as etapas.

As evidências encontradas na pesquisa também permitem concluir que ter acesso à informação, sobretudo da forma como se comporta historicamente a pluviometria, pode ajudar os produtores a conceberem estratégias de planejamento e tomada de decisão, tentando contornar os impactos causados pela instabilidade pluviométrica que é a regra e faz parte do cotidiano das suas vidas. Tendo isto em consideração, a discussão sobre os resultados encontrados nesta investigação configura-se como uma contribuição para a literatura relacionada com a produção de lavouras de sequeiro no semiárido, em que prevalece a ocorrência de chuvas irregulares ao longo dos anos. Isso faz com que haja a necessidade dos agricultores sempre estarem preparados para esse fato. Para tanto, precisam desenvolver capacidades adaptativas, conceber estratégias para que ao menos minimizem as suas dificuldades na convivência com essa realidade.

Por outro lado, cabe ao Estado, no sentido lato (federal, estadual e municipal) prover políticas públicas de assistência técnica, fomento, extensão, seguro rural e desenhar, junto com esses sujeitos, alternativas não agrícolas de convivência com essa realidade. De outra forma, esses agricultores são potenciais emigrantes o que poderá acontecer sempre que problemas de ocorrência de escassez hídrica se manifestarem.

Sugere-se, para futuras investigações, a inclusão de outras culturas agrícolas, e o desdobramento da pesquisa nos municípios do Nordeste, em geral, e no semiárido em particular, desde que haja informações disponíveis em períodos suficientemente longos para capturar essas informações, haja vista que as precipitações anuais de chuvas já dispõem de séries que cobrem o período de 1901 a 2022, em nível de municípios.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 13, n. 36, p. 7-59. 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SJtztzMvDKVPTZ7svpZzFWJM/?lang=pt>.
- AGUIAR, L. C.; DELGROSSI, M. E.; DE OLIVEIRA, L. G.; DE ÁVILA, M. L. As políticas públicas no semiárido brasileiro: uma revisão de literatura. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 50, n. 2, p. 9-22, 2019.
- BAIG, Imran Ali; IRFAN, M.; AARIF, M.; HUSAIN, S.; SULAIMAN, M. How agricultural technologies and climatic factors affect India's crop production? A roadmap towards sustainable agriculture. *Sustainable Development*, [S.l.], v. 31, n.4, p. 2908-2928, 2023.
- BEZERRA, F. N. B. **Avaliação da agricultura de baixa emissão de carbono e inteligente ao clima no Brasil**. 2022. 263 f. Tese (Doutorado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- BEYER, M.; WALLNER, M.; BAHLMANN, L.; THIEMIG, V.; DIETRICH, J.; BILLIB, M. Rainfall characteristics and their implications for rain-fed agriculture: a case study in the Upper Zambezi River Basin, **Hydrological Sciences Journal**, London, UK, v. 61, n. 2, p. 321-343, 2016.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis, Forecasting and Control**, San Francisco: Holden-Day, 1976,
- BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. **Time series analysis: forecasting and control**. 5 ed, 2016, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey. Disponível em: http://www.ru.ac.bd/stat/wp-content/uploads/sites/25/2019/03/504_05_Box_Time-Series-Analysis-Forecasting-and-Control-2015.
- COSTA FILHO, J. **Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a previsão da produção de lavouras de sequeiro em áreas sujeitas a desertificação (ASD) no semiárido do estado do Ceará: casos de Irauçuba e Tauá**, 100f, 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2019.
- COCHRANE, J. H. **Time series for macroeconomic and finances**, Graduate School of Business, Time Series, 1997. Disponível em: <http://www.bseu.by/russian/faculty5/stat/docs/4/Cochran>.
- CARVALHO, O. Perspectivas do desenvolvimento regional no Brasil, **Revista Política e Planejamento Regional**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, julho/dezembro, 2014, p. 295 a 310, Disponível em: <http://www.revistappr.com.br/artigos/extra/55257a8c74a1f.pdf>.
- DA MATA, D.; FREITAS, R. E.; RESENDE, G. M. **Avaliação de políticas públicas no Brasil: uma análise do semiárido**. Brasília: Ipea, 2019.

- DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. The economic impacts of climatechange: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **The American Economic Review, Pittsburgh**, EUA, v. 97, n. 1, p. 354-385, 2007.
- DUQUE, J.G. **Solo e água no Polígono das Secas**. Mossoroense. 1980.
- ESMERALDO, G. G. S. L.; CAJADO, D. M.; ABRANTES, K. K. J.; AIRES, K. S. **Políticas Públicas para os povos do Semiárido: Avanços e Desafios**, Fortaleza, 2017.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais Sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacíficos e Atlântico no Clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba, PR, v. 1, p. 15-28, 2005.
- FISCHER, G.; SHAH, M.; VAN VELTHUIZEN, H. **Climate change and agricultural vulnerability**, Johannesburg: International Institute for Applied Systems Analysis to World Summit on Sustainable Development, Special Report, 2002.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia, **Plataforma de coleta de dados**, Disponível em: <http://funceme.br/pcd/estacoes>. Acesso em: 10 dez. 2022
- GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**, Piracicaba: IPEF, Circular técnica - 171, 12 p., 1989,
- GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. 13. ed, ESALQ/USP, 1985.
- GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 98 p. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
- GOYAL, M.; AGARWAL, S.; GHALAWAT, S.; MALIK, J. S. ARIMA and ARIMAX Analysis on the Effect of Variability of Rainfall, Temperature on Wheat Yield in Haryana. **Indian Journal of Extension Education**, [S.l], v. 60, n. 1, p. 95-99, 2024.
- GREENE, W. H. **Econometric Analysis**, 71. ed, New York: Stern School of Business, New York University, 2012,
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D, C, **Econometria Básica**, 5. ed, AMGH Editora Ltda, São Paulo, SP, 2011.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Agrícola Municipal – PAM 2020**, Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em 15 dez. 2022.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017 -Resultados Definitivos**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em 15 dez. 2022.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate, *In*: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**, Berlin: Verlag von Gebrüder Borntraeger. 1936.
- KÖPPEN, W. Klassifikation der Klimatenach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf, *In*: **Petermanns Geographische Mitteilungen**, Mitt, Hamburg, September/ October, p. 193- 203, 1918.
- LEMONS, J.J. S. **Vulnerabilidades induzidas no semiárido**, E-book, Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020, Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/54842>.

LEMOS, J. J. S.; BEZERRA, F. N. R. ARIMAX Model to Forecast Grain Production under Rainfall Instabilities in Brazilian Semi-Arid Region. **Global Journal of human-social science: Economics**. Framingham, EUA, v. 24, n. 1, version 1.0, 2024.

LESSA, L. R. **Resiliência e sustentabilidade da agricultura de sequeiro sob instabilidade pluviométrica na Paraíba**. 2023. 95f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2023.

MAGALHÃES, A. The effects of climate variations on agriculture in Northeast Brazil. In: PARRY, M.; CARTER, T.; KONIJN, N. (ed.). **The impact of climate variations on agriculture: assessments in semi-arid regions**. [S. l.]: Kluwer Academic Publishers, 2, p. 277- 304. 1988.

MARKOWITZ, Harry. Portfolio selection. **Journal of finance**. [S.l], v.7, n.1, p.77-91, 1952.

MELO, R. F. de; SIMOES, W. L.; PEREIRA, L. A.; BRITO, L. T. de L.; FERREIRA, E. P.; BARROS, L. C. de; RIBEIRO, P. E. de A. Água para o fortalecimento dos sistemas agrícolas dependentes de chuva, In: MELO, R.F.; VOLTOLINI, T.F. **Agricultura familiar dependente de chuva no semiárido**, EMBRAPA Semiárido, p,188 – 228, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208457/1/Agua-para-o-fortalecimento-2019.pdf>.

MOHAMMED, R.; SCHOLZ, M, Climate change and water resources in arid regions: uncertainty of the baseline time period, **Journal Theoretical and Applied Climatology**, v,137, n,1-2, p, 1365-1376, 2019. Disponível em: <https://portal.research.lu.se/en/publications/climate-change-and-water-resources-in-arid-regions-uncertainty-of>.

MOHINDER SINGH, N, K, T,; NAVEEN KUMAR, K, R, D,; DEHINWAL, A, K, Dry and Rainfed Agriculture- Characteristics and Issues to Enhance the Prosperity of Indian Farming Community, **BEPLS**, v. 6, n. 10, October, 2017. Disponível em: http://bepls.com/OCT_2017/6.pdf.

MOURA, M. S. B. et al. Clima e água de chuva no semi-árido. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap. 2, p. 37-59.

NYAMBE, A. Exploring climate change perception and heat stress adaptation among Zambian farmers using participatory tools. **Reg Environ Change**, [S.l], v. 24, n. 46, 2024.

PAIVA, E, C.; LEMOS, J. J. S.; CAMPOS, R. T. Previsões para a produção de leite sob instabilidade pluviométrica no Ceará no período de 1974 a 2019, **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v.60 (spe), e252091, 2022.

PEREIRA, G. R.; CUELLAR, M. D. Z. **Impactos ambientais e socioeconômicos da seca de 2012/2014 no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará, Brasil**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 8 p. 2014. Disponível em: <http://geopro.crn.inpe.br/img/trabalho2.pdf>.

PEREIRA, G, R, **Correlação entre as secas e as perdas na agricultura de sequeiro no semiárido nordestino**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conadis/2018/TRABALHO_EV116_MD1_SA_3_ID185_19112018114546.pdf.

PENMAN, A. D. M. Shear characteristics of a saturated silt, measured in triaxial compression. **Geotechnique**, [S.l], v. 3, n. 8, p. 312-328, 1953.

- ROCKSTROM, J, *et al*, Managing water in rainfed agriculture – The need for a paradigm shift. **Agricultural Water Management**, [S.l], v. 97, p. 543–55, 2010.
- ROSENZWEIG, C.; HILLEL, D. Climate change, agriculture and sustainability. *In*: LAL, R. N.; UPHOFF, B.A.; STEWART,; HANSEN, D.O. (eds), **Climate change and global food security**, Taylor & Francis, London, UK, p, 243-268, 2005.
- SANTOS, C.; DIAS, C. Note on the coeficient of variation properties. **Brazilian Electronic Journal of Mathematics**, Ituiutaba, MG, v. 2, n. 4, jul/dez, 2021.
- SALVIANO, J. I. A. **Relações entre instabilidades das chuvas e indicadores de produção de lavouras de sequeiro no semiárido cearense**, 130f. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2021.
- SUDENE, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. [Resolução CONDEL/Sudene Nº 176, de 3 de Janeiro de 2024](https://www.gov.br/sudene/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-condel/resolucao-condel-sudene-no-176-de-3-de-janeiro-de-2024). Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-condel/resolucao-condel-sudene-no-176-de-3-de-janeiro-de-2024>.
- SUDENE, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do semiárido – 2021**. Recife (Versão Preliminar), 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiariorelatorionv.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2022.
- TODMAL, R.S. Assessment of hydro-climatic trends in a drought-prone region of Maharashtra (India) with reference to rainfed agriculture. **Reg Environ Change**, [S. l], v. 23, n. 62, 2023.
- TODMAL, R.S. Link between monsoon rainfall variability and agricultural drought in the semi-arid region of Maharashtra, India. **Curr Sci**, v. 122, n. 934, 2022.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical review**, [S. l], v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- THORNTON, P.; JONES, P.; OWIYO, T.; KRUSKA, R.; HERRERO, M.; ORINDI, V.; BHADWAL, S.; KRISTJANSON, P.; NOTENBAERT, A.; BEKELE, N.; OMOLO, A. Climate change and poverty in Africa: Mapping hotspots of vulnerability, **African Journal of Agricultural and Resource Economics**, [S. l], v. 2, 2008.
- UNITED NATIONS. **United Nations Environment Management Group**. New York. 2011. Disponível em: <https://unemg.org/>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Aridity definition (UN documents)**, New York. 1979. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/unesco/resources/publications/>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- WANI, S. P.; SREEDEVI, T. K.; ROCKSTRÖM, J.; RAMAKRISHNA, Y.S. Rainfed agriculture: past trends and future perspectives. *In*: **Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential**, p. 1, 35, 2009, Disponível em: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Rainfed_Agriculture/Protected/Rainfed_Agriculture_Unlocking_the_Potential.pdf.
- WOOLDRIDGE, J.M. **Introductory econometrics: A modern approach**, South Western Educational Publishing, 881 p., 2013.