

AGRICULTURA RESILIENTE AO CLIMA (ARC): AVALIAÇÃO DAS LAVOURAS DE SEQUEIRO NO ESTADO DO CEARÁ NO PERÍODO 1945 /2020

CLIMATE-RESILIENT AGRICULTURE (CRA): ASSESSMENT OF RAIN-FED CROPS IN THE STATE OF CEARÁ FROM 1945 TO 2020

AGRICULTURA RESILIENTE AL CLIMA (ARC): EVALUACIÓN DE LOS CULTIVOS DE SECANO EN EL ESTADO DE CEARÁ EN EL PERÍODO 1945-2020

José de Jesus Sousa Lemos¹
Filomena Nádia Rodrigues Bezerra²

RESUMO

A agricultura de sequeiro tem relevância como instrumento que pode contribuir para o desenvolvimento regional no semiárido do Ceará. Uma das características do semiárido é a instabilidade pluviométrica. Neste sentido esta pesquisa buscou responder à seguinte questão: Pode-se falar que os agricultores cearenses que cultivam lavouras de sequeiro desenvolvem características adaptativas às dificuldades provocadas pela instabilidade pluviométrica que permitam falar que praticam agricultura resiliente ao clima no período de 1945 a 2020? Para respondê-la tem os seguintes objetivos específicos: a) classificar a distribuição da pluviosidade do Ceará de 1901 a 2020 em três períodos; b) examinar os anos de ocorrência desses períodos entre 1945 e 2020; c) avaliar o comportamento da produção de arroz, feijão, mandioca e milho no Estado em cada um desses períodos; d) estimar as instabilidades da precipitação de chuvas, bem como as associadas às variáveis definidoras da produção das culturas estudadas; e) verificar se há existência de resiliência na produção destas culturas à ocorrência de secas, tal como definidas neste estudo. Os dados pluviométricos utilizados foram retirados da NOAA (2022) cobrindo o período de 1901 a 2020. As informações das lavouras estudadas são disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no período 1945/2020. A pesquisa mostra de que forma os cultivos em lavouras de sequeiro podem contribuir para o desenvolvimento regional. Estimaram-se as instabilidades usando os coeficientes de variação. Utilizou-se análise fatorial na construção do índice de sinergia. Os resultados demonstraram a existência de auto-resiliência na produção das lavouras estudadas.

Palavras-chave: lavouras alimentares de sequeiro; seca; instabilidades da precipitação de chuvas; desenvolvimento rural das regiões semiáridas; desenvolvimento regional.

¹Doutor e Pós-Doutor em Economia Rural, dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente. Professor Titular na Universidade Federal do Ceará, vinculado aos cursos de Mestrado e Doutorado em Economia Rural. Ceará. Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2169-1360>. E-mail: lemos@ufc.br

²Engenheira Agrônoma. Mestre e Doutora em Economia Rural. Professora do Departamento de Economia Rural da Universidade Federal do Ceará. Ceará. Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4496-8190>. E-mail: nadiabezerra.agr@gmail.com

ABSTRACT

One of the characteristics of the semi-arid region is rainfall instability. In this sense, this research sought to answer the following question: Can it be said that farmers in Ceará who cultivate rainfed crops develop adaptive characteristics to the difficulties caused by rainfall instability that allow them to say that they practice climate-resilient agriculture in the period from 1945 to 2020? In order to answer this question, it has the following specific objectives: a) to classify the distribution of rainfall in Ceará from 1901 to 2020 into three periods; b) to examine the years in which these periods occurred between 1945 and 2020; c) to evaluate the behavior of rice, bean, cassava and corn production in the state in each of these periods; d) to estimate the instabilities of rainfall, as well as those associated with the variables that define the production of the crops studied; e) to verify whether there is resilience in the production of these crops to the occurrence of droughts, as defined in this study. The rainfall data used was taken from NOAA (2022) covering the period from 1901 to 2020. Information on the crops studied is available from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) for the period 1945/2020. The research shows how rainfed crops can contribute to regional development. Instabilities were estimated using the coefficients of variation. Factor analysis was used to construct the synergy index. The results showed the existence of self-resilience in the production of the crops studied.

Keywords: dryland food crops; drought; rainfall instability; rural development in semi-arid regions; regional development.

RESUMEN

Una de las características de la región semiárida es la inestabilidad de las lluvias. En este sentido, esta investigación buscó responder a la siguiente pregunta: ¿Se puede afirmar que los agricultores de Ceará que practican cultivos de secano desarrollan características adaptativas a las dificultades causadas por la inestabilidad de las precipitaciones que les permiten decir que practican una agricultura resiliente al clima en el período de 1945 a 2020? Para responder a esta pregunta, se plantean los siguientes objetivos específicos: a) clasificar la distribución de las precipitaciones en Ceará de 1901 a 2020 en tres períodos; b) examinar los años en que se produjeron estos períodos entre 1945 y 2020; c) evaluar el comportamiento de la producción de arroz, frijol, mandioca y maíz en el estado en cada uno de estos períodos; d) estimar las inestabilidades de las precipitaciones, así como las asociadas a las variables que definen la producción de los cultivos estudiados; e) comprobar si existe resiliencia en la producción de estos cultivos ante la ocurrencia de sequías, tal como se definen en este estudio. Los datos pluviométricos utilizados proceden de la NOAA (2022) y abarcan el período comprendido entre 1901 y 2020. La información sobre los cultivos estudiados está disponible en el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) para el período 1945/2020. La investigación muestra cómo los cultivos de secano pueden contribuir al desarrollo regional. Las inestabilidades se estimaron mediante coeficientes de variación. Se utilizó el análisis factorial para construir el índice de sinergia. Los resultados mostraron la existencia de autorresiliencia en la producción de los cultivos estudiados.

Palabras clave: cultivos alimentarios de secano; sequía; inestabilidad pluviométrica; desarrollo rural en regiones semiáridas; desarrollo regional.

Como citar este artigo: LEMOS, José de Jesus Sousa; BEZERRA, Filomena Nádia Rodrigues. Agricultura Resiliente ao Clima (ARC): avaliação das lavouras de sequeiro no estado do Ceará no período 1945 /2020. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 15, p. 1088-1109, 10 dez. 2025. Doi: <https://doi.org/10.24302/drd.v15.5397>.

Artigo recebido em: 25/04/2024

Artigo aprovado em: 10/12/2025

Artigo publicado em: 10/12/2025

1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste Brasileira é constituída por 1.793 municípios distribuídos em nove (9) estados. De acordo com o Censo Demográfico de 2022 a população da região era de 54,6 milhões de pessoas, o que correspondia a 26,9% dos habitantes do País. Esta é a região mais carente do Brasil. Com efeito, em 2022 o PIB per capita do Nordeste era de R\$21.500,00, o menor do País e representava apenas 50,9 % da media brasileira que, naquele ano somou R\$42.247,52. Em 2022 o PIB per capita do Nordeste equivalia a apenas 1,48% do salário mínimo anualizado.

Conforme a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene, 2024), por meio da resolução de Nº173 de 3/01/2023 a composição oficial da região semiárida brasileira, a partir de janeiro de 2024, passou a contar com 1.477 municípios (antes eram 1427) situados nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo. A atual área total da região é 1.335.298 km², correspondendo a cerca de 15% do território brasileiro. O Ceará voltou a ter 175 dos seus 184 municípios reconhecidos oficialmente com fazendo parte do semiárido.

A região semiárida brasileira é caracterizado pela prevalência de temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar e regimes pluviométricos instáveis, tanto do ponto de vista temporal como espacial (Marengo; Bernasconi, 2015; Marengo et al., 2017; Salviano et al., 2020; Bezerra, 2022; Lessa, 2023).

Na região semiárida, de modo geral, e na do Ceará especificamente, prevalece o cultivo de lavouras de sequeiro que dependem, exclusivamente das precipitações de chuvas. Nesses locais não é comum o uso de tecnologias como irrigação, mecanização, reposição da fertilidade dos solos, o uso de sementes geneticamente melhoradas na produção que fomentam maiores produtividades e, como consequência, sejam poupadores de solo. Estes fatos fazem com que a agricultura praticada em áreas sob esse regime climático tenha dificuldades na sua condução e de ser atividade sustentável econômica, social, ambientalmente e, em decorrência, têm dificuldades de contribuir na promoção do desenvolvimento regional (Rosenzweig; Hillel, 2005; Thornton et al., 2008; Pereira, 2018; Lemos, 2020; Bezerra, 2022; Lessa, 2023).

Desta forma, a instabilidade pluviométrica, que tão bem caracteriza o semiárido brasileiro, é um fenômeno que está diretamente relacionado ao déficit de produção das lavouras de sequeiro, predominantemente cultivadas pelos agricultores do Nordeste em geral, e do Ceará em particular que, a um só tempo, garantem parcial ou totalmente a segurança alimentar, fomentam renda monetária e ocupação para as famílias (Buriti, Barbosa, 2018; Botelho, 2000; Lemos, 2020; Bezerra, 2022).

Apesar do exposto, as atividades agrícolas de sequeiro, são de grande importância, como instrumentos que podem contribuir para a promoção do desenvolvimento regional, territorial e local nas áreas do semiárido, na medida em que desenvolverem as capacidades de gerarem ocupação para as famílias e para os trabalhadores rurais, serem provedoras de renda monetária e consigam ser fomentadoras total, ou parcialmente, da segurança alimentar para as famílias de agricultores que se dedicam à essas atividades. Com essas características, essas atividades, poderão contribuir para freiar o êxodo rural, que é uma das sugestões saídas do Relatório de Brudtland (1987) para ajudar na promoção do desenvolvimento regional sustentável. A utilização de tecnologias que mitigam os impactos das irregularidades pluviométricas, já bastante praticadas em áreas específicas da região semiárida brasileira, não está disponível para a maioria dos agricultores (Carvalho, 2010; IPECE, 2018; Gurjão, 2020). Estes fatos tornam a agricultura praticada na região semiárida, difícil de conduzir, bem como uma atividade muito sujeita a diversos riscos: econômicos, sociais e ambientais (Duque, 1973; Fischer et al., 2002; Rosenzweig & Hillel, 2005; Thornton et al., 2008; Obermaier, 2011; Beyer et al., 2016; Pereira, 2018; Costa Filho, 2019; Lemos et al., 2020; Salviano, 2021).

Além disso, as disponibilidades do solos de qualidade e de recursos hídricos, nas áreas onde prevalece a agricultura de sequeiro, são identificadas como as principais limitações à manutenção da produção, da produtividade e da renda dessas culturas de forma sustentável. Assim, a escassez de água causada pela ocorrência sistemática de secas desempenha um papel crucial, uma vez que induz vulnerabilidades que se repercutem na pobreza persistente em locais que coexistem com esta dificuldade, além de terem impacto na degradação dos recursos naturais e do ambiente, corroendo assim a produtividade das lavouras e da criação animal bem como enfraquecendo as estratégias de sobrevivência (Duque, 1973; Berkes, 2007; Deschênes & Greenstone, 2007; Fraiture et al, 2009; Mallari, 2016; Singh et al., 2018; Sathyan et al., 2018; GEF, 2019).

Por outro lado, sabe-se que os agricultores, em geral, e aqueles que cultivam culturas de sequeiro, em particular, no Nordeste brasileiro, desenvolvem estratégias de adaptação e coexistência com as incertezas pluviométricas que são a sua regra desde que entraram nas atividades, quer seja através dos conhecimentos adquiridos dos seus pais e familiares, quer seja por meio de suas próprias experiências. Esta aprendizagem os leva a conceber estratégias adaptativas de sobrevivência nos períodos mais críticos, sendo um comportamento que pode ser identificado como auto-resiliência, porque é independente da ação de agentes externos, ou de políticas públicas. Funcionam como um mecanismo de auto-defesa para os agricultores que cultivam lavouras de sequeiro (Devendra, 2016; Machado, 2018; Praxedes, 2021; Moura, Campos, 2025).

Com base nestes fundamentos, esta investigação foi concebida objetivando responder à seguinte questão: Pode-se falar que os agricultores cearenses que cultivam lavouras de sequeiro desenvolvem características adaptativas às dificuldades provocadas pela instabilidade pluviométrica que permitam falar que praticam agricultura resiliente ao clima no período de 1945 a 2020?

Para responder a essa questão a pesquisa tem os seguintes objetivos específicos: a) classificar a distribuição da precipitação de chuvas em três períodos: seco, normal e chuvoso com base nas séries históricas para o estado do Ceará entre 1901 e 2021; b) examinar os anos de ocorrência desses períodos, definidos no objetivo "a" adaptados ao horizonte temporal de 1945 a 2020, período em que estão disponíveis as informações referentes às atividades agrícolas

estudadas na pesquisa; c) avaliar o comportamento da produção de arroz, feijão, mandioca e milho no estado do Ceará em cada um desses períodos nos anos estudados; d) estimar a instabilidade total da precipitação, bem como as associadas às variáveis definidoras da produção de arroz, feijão, mandioca e milho entre 1945 e 2020; e) verificar a existência de auto-resiliência na produção destas culturas ao estresse provocado por anos de seca, tal como definido neste estudo.

Além desta introdução, o artigo é composto por mais quatro seções. Na segunda seção, discorre-se a fundamentação teórica sobre os principais conceitos acerca da agricultura resiliente ao clima e as definições de seca. A terceira seção exhibe a descrição dos dados e os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. Enquanto na quarta seção, apresentam-se e discutem-se os resultados, finalizando com as conclusões do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção se apresentam e se discutem os conceitos de agricultura resiliente ao clima (*Climate Resilience Agriculture* - CRA) e as definições de secas, tendo em vistas que não há consenso na literatura disponível acerca de qual nível de precipitação de chuvas se pode estabelecer como marco definidor da ocorrência de seca.

2.1 AGRICULTURA RESILIENTE AO CLIMA

O trabalho de Pimm (1991) ensina que resiliência tem ênfase no conceito físico de elasticidade, em virtude da característica dos materiais de se deformarem e voltarem ao formato original, após sofrer algum choque responsável por causar a sua deformação. Para Atkins, Mazzi & Easter (2000), resiliência seria capacidade de recuperação que teria um sistema de reabilitar-se tendo experimentado uma situação de risco, perigo ou desastre. Desse modo, para esses autores, a resiliência é designada como a capacidade de um sistema, que esteja em estado de vulnerabilidade, de se recuperar, permanecendo estável ao longo dos períodos posteriores. Assim sendo, vulnerabilidade e resiliência são conceitos que se opõem (Lemos, 2020).

Nessa perspectiva, o Relatório do Desenvolvimento Humano 2014 (UNDP, 2014), que tem como temáticas a discussão dos conceitos de vulnerabilidade e resiliência define resiliência como a capacidade que um sistema e seus componentes têm em antecipar, absorver, acomodar ou recuperar-se de efeitos provocados por fatores externos, de modo eficiente, considerando uma escala temporal.

Isto posto, se faz necessário abordar a definição dada por Rao et al. (2016), que conceitua a Agricultura Resiliente ao Clima (*Climate Resilience Agriculture* - CRA) como a incorporação de adaptação, mitigação e de outras práticas na agricultura capazes de aumentar o sistema produtivo em resposta às instabilidades climáticas, resistindo aos danos, recuperando-se rapidamente e assegurando uma produção sustentável. Em suma, é a capacidade de um sistema regressar à sua posição anterior à ocorrência do estresse a que estava sujeito. CRA envolve o incremento na gestão dos recursos naturais, tais como: terra, água, solo, além de recursos genéticos, sempre em busca de melhores práticas (Mendelsohn, 2009; Hanjra; Qureshi,

2010; FAO, 2013; IIED, 2015; Maheswari et al., 2015; Rao et al., 2016; Rai et al., 2018; Rao; Gopinath, 2021).

A literatura que descreve as práticas de CRA sugere que algumas das estratégias para alcançar este objetivo seriam: cultivo de variedades tolerantes à seca, diversificação de culturas, gestão do solo, desenvolvimento de estratégias de colheita e armazenamento de água, promoção da segurança alimentar, tentativas de conservação da umidade do solo, gestão adequada do solo, diversificação de culturas, cultivo de culturas de ciclo mais curto, entre outras práticas (Mendelsohn, 2009; Hanjra; Qureshi, 2010; Alemaw; Simalenga, 2015; Maheswari et al., 2015; Rao et al., 2016; Altieri; Nicholls, 2017; Rey et al., 2017; Sain et al., 2017).

Quanto a realidade brasileira, Praxedes (2021) retratou a resiliência à instabilidade pluviométrica na agricultura de sequeiro na sub-região mais problemática do Ceará. em termos de distribuição de chuvas (Sertão Central e Inhamuns), em 29 dos 40 municípios que fazem parte daquela sub-região. A autora mencionou que, apesar de ser um sistema de sequeiro, as produções de feijão, mandioca e milho apresentaram resiliência quando mensuradas de forma agregada, no período de 1974 a 2019. O estudo aponta ainda que, apenas as áreas colhidas com mandioca não apresentaram resiliência à ocorrência de seca, ressaltando-se que foram identificados 16 anos com períodos de restrições pluviométricas no Ceará naquele período, sendo o mais longo de 2012 a 2016.

O trabalho de Bezerra (2022) faz análise de um dos pilares da Agricultura Inteligente ao Clima (*Climate Smart Agriculture - CSA*), que é denotado pela estimação do Índice de Agricultura Resiliente ao Clima (ICRA) em três estados da região Nordeste: Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte. A autora enfatiza que, os agricultores, de maneira geral, desenvolvem habilidades de convivência com as secas, seja por meio dos conhecimentos adquiridos pelos seus antepassados, ou pelas próprias experiências adquiridas quando são pressionados a gerenciar riscos recorrentes nos seus estabelecimentos. Sendo assim desenvolvem auto-resiliência, pois quase sempre independem da intervenção de agentes externos, ou mesmo de políticas públicas. Por razões pontuadas na literatura, retratadas em parte nesta pesquisa, vale mencionar que intensificar e elevar a resiliência das famílias rurais que detêm atividades baseadas na agricultura em geral, e a de sequeiro em particular, é um instrumento importante para fomentar o desenvolvimento local e regional das famílias, tendo em vista que se isso for conseguido, exercerá um freio importante no êxodo rural (Devendra, 2016; Bezerra, 2022).

Na região semiárida brasileira, em geral, e no estado do Ceará, em particular, que tem 175 dos seus 184 municípios reconhecidos pelo Governo Federal (SUDENE, 2021) como estando incluídos nesta região, pode-se dizer que existem algumas práticas exercidas pelos próprios agricultores que podem ser caracterizadas como CRA. São experiências e adaptações, na maioria das vezes espontâneas, sem a intervenção dos poderes públicos, que os levam, por exemplo, a selecionar sementes e mudas das culturas que apresentam os melhores resultados em boas épocas de chuva e mesmo nos períodos em que há dificuldades (Obermaier, 2011; Melo et al., 2019; Praxedes, 2021).

2.2 DEFINIÇÕES DE SECA

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization – WMO*, 2012), a seca é um período prolongado quando a precipitação total numa região definida é inferior à média de longo prazo, causando problemas entre a procura e a oferta de água nessa região. De acordo com Mishra e Singh (2010), Marengo et al. (2016) e Brito et al. (2018), a seca é um fenómeno natural complexo que afeta as atividades agrícolas, reservatórios de água utilizados para produzir eletricidade e outras necessidades de utilização de água.

Segundo Wilhite e Glantz (1985) existem quatro tipos de secas: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica. A seca meteorológica está associada à queda na precipitação de chuvas devido ao comportamento do sistema oceano-atmosférico. Por outro lado, de acordo com Fernandes et al. (2009), a seca meteorológica pode ser definida como a duração dos períodos em que a precipitação ocorre abaixo de uma média histórica. A seca é classificada como agrícola quando a evapotranspiração é superior ao total de água disponível para as culturas no solo (Woli et al., 2012). A seca hidrológica, por sua vez, está relacionada com o fluxo inadequado de água da chuva para usos já estabelecidos no sistema como, por exemplo, para o abastecimento de centrais hidrelétricas (Mishra; Singh, 2010; Jesus et al., 2020).

Finalmente, a seca socioeconômica afeta as consequências da escassez de água para as atividades econômicas, provoca escassez de água para as necessidades humanas, para os animais e apresenta impactos ambientais, e se torna em obstáculo para a conquista do desenvolvimento local e regional, entendidos como a melhoria generalizada do bem-estar das famílias que sobrevivem nesses locais e regiões. (Pedro-Monzonís et al., 2015; Lemos, 2020).

Como se observa, as definições de seca não contemplam um patamar de pluviometria que poderia ser assim considerado como referência. O trabalho de Nunes e Medeiros (2020) elaborou uma classificação para períodos de seca para o estado do Ceará utilizando o que designaram de índice percentual normal (PIN), que é estimado pela razão entre a precipitação acumulada num determinado ano e a média histórica calculada a partir de um período mais longo.

Portanto, nesta pesquisa são utilizados os conceitos de secas meteorological, agrícola e socio-econômica, em conjunto, com base numa definição de precipitação em três períodos, definidos neste estudo, que estão descritos na metodologia.

2.2 DESENVOLVIMENTO REGIONAL

A Avaliação do fenómeno de desenvolvimento, que é um conceito dinâmico e mais abrangente do que o de crescimento econômico, que leva em consideração apenas a evolução de variáveis como o PIB, PIB per capita, principalmente. Até 1989 era através do PIB per capita que as Nações Unidas faziam o ranking dos países, em relação ao progresso material Lemos, 2012).

Em 1990, essa entidade criou o conceito de Desenvolvimento Humano (DH) que incorpora, além da vertente econômica que se traduz no PIB per capita, a longevidade e a educação. No Relatório de Desenvolvimento Humano de 1994, está escrito:

Os desejos humanos seguramente incorporam ter riqueza material. Porém eles precisam e querem também ter uma vida longa e saudável, beberem vigorosamente na fonte do saber, participarem livremente na vida da sua comunidade, respirarem um ar livre de poluição, e apreciarem o simples prazer de viverem num ambiente limpo, com paz em suas mentes, que decorre do fato de possuírem um local seguro para morar, e ter a segurança de ter trabalho estável, com remuneração dignificante (Human Development Report, 1994, p. 15).

Depois da estabilização monetária, que complete dez anos no meado de 2024, outro conceito passou a ter mais espaço no debate acadêmico e político. O conceito de desenvolvimento econômico regional. Nesta perspectiva teórica de interpretação, estão contempladas os indicadores de DH, mas são também incorporadas na análise as vertentes de espaço, região e que assumem certas peculiaridades com relação a outros campos das ciências sociais e humanas, como a geografia e a sociologia, principalmente. A concepção de desenvolvimento regional, portanto, é multi e interdisciplinar. Essa vertente do debate começou com os trabalhos de François Perroux., ainda nos anos de 1950 (Piacenti, 2016).

Nesta pesquisa, se incorpora o conceito de desenvolvimento regional, na perspectiva de que se entende que as condições para que haja o desenvolvimento rural das regiões semiáridas, em que prevalece as instabilidades climáticas, sobretudo as pluviométricas, é o entendimento de que se as atividades agrícolas desenvolvidas pelos sujeitos sociais seja capaz de apresentarem alguma resiliência a essas intempéries.

3 MATERIAL E MÉTODO

O estudo utiliza séries de precipitação pluviométrica anual (em milímetros - mm) fornecidas pela Agência Nacional Oceânica e Atmosférica (*National Oceanic & Atmospheric Administration* – NOAA, 2022). A escolha desta fonte, se justifica pelo fato de disponibilizar dados climáticos globais e indicadores climáticos-ambientais que contêm informações acessíveis a partir de 1901, horizonte temporal suficiente para a presente análise. Os dados referentes às áreas colhidas, produtividade, preços das lavouras de arroz, feijão, mandioca e milho foram recolhidos de 1945 a 1973 a partir dos Anuários Estatísticos do IBGE (1945-1973). Quanto ao período de 1974 a 2020 foram retirados junto as Produções Agrícolas Municipais – PAM (IBGE, 2020). Quanto aos valores monetários foram atualizados para 2020 utilizando o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2022).

As culturas alimentares selecionadas foram: arroz, feijão, mandioca e milho, porque são cultivadas pela maioria dos agricultores do estado do Ceará, sobretudo, os que cultivam em sistema de sequeiro (IBGE, 2019). A partir destas culturas, foram analisadas as seguintes variáveis: A_{it} = Área colhida em hectares (ha) com cultura "i" ($i = 1, 2, 3, 4$) no ano t ($t = 1945, \dots, 2020$) no Ceará; R_{it} = produtividade da terra ou, simplesmente, produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na produção da cultura "i" no ano "t"; e P_{it} = preço médio ($\text{R\$} \cdot \text{kg}^{-1}$), em valores de 2020, da cultura "i" no ano "t".

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PLUVIOMETRIA NO ESTADO DO CEARÁ DE 1901 A 2020

Para a classificação dos períodos de pluviosidade para o Ceará foram utilizadas séries históricas de precipitação pluviométrica entre os anos de 1901 e 2020. A média (ME) e o desvio padrão (DP) foram calculados para estes anos de observações. Assim, são definidos os seguintes períodos, de acordo com a intensidade anual da precipitação: seca, chuvoso e normal. As definições destes três períodos estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Definições dos períodos de pluviometria no estado do Ceará de 1901 a 2020

Períodos	Parâmetros de classificação (mm)
Seca	Pluviometria < (ME - ½ DP)
Normal	(ME - ½DP) ≤ Pluviometria ≤ (ME + ½ DP)
Chuvoso	Pluviometria > (ME + ½ PD)

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da NOAA (2022).

Uma vez definidos os anos que compõem cada período, foi feito um teste para verificar se as médias desses períodos são estatisticamente diferentes. Se esta hipótese for aceita, a classificação pode ser adotada para avaliar as variáveis utilizadas para estudar as colheitas em cada período de chuva. Para realizar o teste utilizou-se a Equação 1 definida como se segue:

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \eta_t \quad (1)$$

Na Equação 1, D_1 e D_2 são variáveis binárias. Caso o coeficiente linear β_0 seja estatisticamente diferente de zero, com $D_1 = D_2 = 0$, será aferida a precipitação média dos anos de seca. Sendo o coeficiente β_1 estatisticamente diferente de zero, com $D_1 = 1$ e $D_2 = 0$, significa que a precipitação média do período de normalidade é diferente dos outros períodos. Sendo o coeficiente β_2 estatisticamente diferente de zero, com $D_1 = 0$ e $D_2 = 1$, significa que a pluviosidade média do período chuvoso é diferente dos outros períodos. O termo aleatório η_t , por hipótese, satisfaz às hipóteses do modelo linear clássico, de ser “ruído branco”. Assim, os parâmetros da Equação 1 podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários - MQO (Greene, 2012; Wooldridge, 2013). Se este modelo prevalecer, será possível classificar os períodos de pluviosidade da seguinte forma:

Média do período chuvoso > média do período normal > média do período de seca.

3.2 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE/ INSTABILIDADE NAS VARIÁVEIS

Para estimar a estabilidade/instabilidade associada à precipitação e às variáveis que definem as produções das lavouras estudadas, foi utilizado o coeficiente de variação (CV). Por definição, o CV mede a relação percentual entre o desvio padrão e a média de uma variável aleatória. O CV é amplamente utilizado como medida de estabilidade ou de instabilidade por pesquisadores nas áreas de finanças, climatologia, engenharia, sensibilidade ao risco, experimentos agrícolas entre outras. Uma vantagem associada ao CV é que permite a comparação entre variáveis de natureza e medição diferentes (Gomes, 1985; Garcia, 1989; Hamer et al., 1995; Nairy; Rao, 2003; Santos; Dias, 2021).

Quanto menor for o CV, mais homogênea, ou mais estável será a distribuição das observações das variáveis em torno de sua média (Nairy; Rao, 2003; Santos; Dias, 2021). Para utilizar o CV como aferidor de estabilidade/instabilidade de uma distribuição, poderá ser útil o

conhecimento acerca da definição dos seus valores críticos. Gomes (1985) estabeleceu limites para a classificação dos CV na experimentação agrícola. Estas são as referências utilizadas neste estudo (Quadro 2).

Quadro 2 – Classificação do coeficiente de variação (CV) de acordo com a amplitude

Classificação	Amplitude (%)
Baixo	$CV < 10$
Médio	$10 \leq CV < 20$
Alto	$20 \leq CV < 30$
Muito alto	$CV \geq 30$

Fonte: Gomes (1985).

3.3 SINERGIAS ENTRE AS VARIÁVEIS DEFINIDORAS DA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS PARA A CHUVA

As variáveis utilizadas para definir a produção de arroz, feijão, mandioca e milho foram agregadas: áreas colhidas, produtividades e preços. Como são variáveis medidas em diferentes unidades e, por hipótese, correlacionadas, a agregação foi feita através do índice de sinergia (SIN) construído na pesquisa. Para construir o SIN, foi utilizada a metodologia de análise de fatorial (AF), através da técnica de decomposição em componentes principais (DCP).

3.3.1 Breve resumo do procedimento de AF, tal como se aplica ao estudo

A análise fatorial é um método concebido para investigar se uma série de variáveis Y_1, Y_2, \dots, Y_n , pode ser resumida num número menor ($k < n$) de fatores não observáveis: F_1, F_2, \dots, F_k . A hipótese técnica de AF está ancorada na correlação linear entre as variáveis que são utilizadas. Para realizar adequadamente a AF é necessário seguir estes passos: realizar o teste de esfericidade de Bartlett para confirmar que a matriz de correlação entre as variáveis estudadas não é uma identidade; assegurar que a estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) tem um valor igual ou superior a 0,500; avaliar a percentagem de explicação da variância acumulada pelos fatores estimados (Brooks, 2003; McClave et al., 2005; Thornton et al., 2008; Hahn, 2009; Guillaumont; Simonet, 2011; Chan, 2017; Fávero; Belfiore, 2017).

Sendo gerados mais do que um fator, o método AF através da DCP proporciona a possibilidade de fazer a rotação dos fatores. Existem diferentes métodos de rotação. Neste estudo foi adotado o método Varimax que produz fatores ortogonais. Esta propriedade é utilizada para construir o índice de sinergia (SIN). Uma vez feita a extração e determinado o número de fatores, estimam-se os escores fatoriais (McClave et al., 2005; Hassan et al., 2012; Chan, 2017; Fávero; Belfiore, 2017).

Com estes procedimentos as "n" variáveis originais geram "k" ($k < n$) variáveis não observadas, chamadas de escores fatoriais (EF) que são utilizados na construção do índice de sinergia (SIN). Os EF têm média zero, desta forma os valores que gravitam em torno dele são positivos e negativos. Para torná-los todos positivos, sem afetar a hierarquia em que foram gerados, é criada a variável (Y_{kt}), que tem variação entre zero e um. Para tanto, se definem os seus valores máximo e mínimo, respectivamente (EF_{\max}) e (EF_{\min}), e se utiliza a transformação mostrada na Equação 2:

$$Y_{kt} = (EF_{kt} - EF_{\min}) / (EF_{\max} - EF_{\min}) \quad (2)$$

Gerado desta forma, porque os fatores são ortogonais (causados pela rotação varimax), é possível estimar o índice de sinergia (SIN) pela média aritmética do Y_{kt} definida na Equação 3.

$$SIN_t = \Sigma Y_{kt} / k \quad (3)$$

O índice de sinergia variará entre zero e um ($0 \leq SIN_t \leq 1$). Quanto mais próximo de um (1) o valor SIN estiver num determinado ano, melhor terá sido o comportamento conjunto das doze (12) variáveis originais nesse ano. Espera-se que isto aconteça nos anos normais e chuvosos, que são definidos nesta investigação.

3.4 MENSURAÇÃO DA RESILIÊNCIA NA PRODUÇÃO DAS CULTURAS ESTUDADAS

Para avaliar se houve resiliência associada à sinergia entre áreas colhidas, produtividades e preços do arroz, feijão, mandioca e milho no Estado do Ceará de 1945 a 2020, como resumidos no SIN, assume-se o seguinte procedimento descrito ao longo desta seção. Foram calculados, em sequência, os anos de precipitação em que ocorreram períodos de seca, períodos normais e períodos chuvosos. Quando ocorreram mais de um ano seguidos nos períodos de “seca”, são calculadas as médias do SIN desses anos. Por outro lado, quando ocorrem sequências de períodos normais e chuvosos, as médias são calculadas de forma agregada. Estes são os períodos que, nesta pesquisa, são identificados como “não secos”. Por conseguinte, assume-se que a resiliência seria a capacidade de recuperação das variáveis agregadas na produção das lavouras nos períodos “não secos”, depois da ocorrência de períodos “secos”.

Procedendo desta forma, a série dos SIN que, originalmente, tem 76 observações, é reduzida a um número inferior de pares de sequências em que os valores se sucedem de forma binária: “seco” e “não seco”. Esta sequência do SIN é então montada em pares identificados como períodos identificados como “depois” e “antes” da seca. O teste que se faz consiste em comparar as médias do SIN nos dois grupos (“depois” e “antes” da seca). A hipótese nula é: a diferença da média do SIN após a seca (μ_1) e a sua média antes da seca (μ_2) é igual a zero, como se mostra na Equação 4:

$$H_0: (\mu_1 - \mu_2) = 0 \quad (4)$$

Se a hipótese nula for aceita, com a margem de erro estipulada para o teste, assume-se que existe resiliência nas variáveis agrupadas no SIN. O teste utilizado foi o “t” de Student com (n-1) graus de liberdade, onde “n” é o número de pares a serem testados (Samuels, 2014; Xu et al., 2017; Monteiro; Lemos. 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação média estimada para o Ceará no período de 1901 a 2020 foi de 799,5 mm, com um desvio padrão de 268,3 mm e CV=33,6%. Com base nestes valores estipulam-se o limite superior para o período de seca (668,50 mm) e o limite inferior para o período chuvoso de 933,7 mm. Os anos normais situaram-se entre estes dois extremos. Estes foram os limites utilizados para as definições de períodos de seca, chuvoso e normal que ocorreram entre os anos de 1901 e 2020.

Pode-se observar na Tabela 1 que as médias de precipitação observadas para os períodos definidos entre os anos de 1901 e 2020, foram estatisticamente diferentes. Sendo assim, aplicaram-se esses limites para as precipitações ocorridas entre 1945 e 2020. O teste estatístico feito para esta série de observações também mostrou que as médias dos períodos são diferentes. Assim, conforme esperado pela pesquisa, a seguinte hierarquia pode ser construída para a precipitação pluviométrica que ocorreu no Ceará entre os anos de 1901 e 2020 e entre os anos de 1945 e 2020, como se segue: média do período chuvoso > média do período normal > média período de seca (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados do teste para avaliar a diferença entre as médias dos três períodos de precipitação criados para o Ceará entre 1901-2020 e 1945 - 2020

Variáveis	Resultados para 1901 a 2020			Resultados para 1945 a 2020		
	Coefficientes	Estatística t	Sign.	Coefficientes	Estatística t	Sign.
Constante	524,685	24,830	0,000	552,042	23,994	0,000
D ₁	255,148	8,979	0,000	245,546	6,987	0,000
D ₂	599,670	19,650	0,000	552,521	14,894	0,000
R ² ajustado: 0,768			R ² ajustado: 0,753			

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022).

Na Tabela 2 se mostram as médias e os CV estimados para os períodos de seca, normal e chuvoso entre os anos de 1901 e 2020, bem como de 1945 a 2020.

Tabela 2 – Classificação por períodos de precipitação de chuvas no Estado do Ceará de 1901 a 2020 e de 1945 a 2020

Períodos	Ocorrências entre 1901 e 2020				Ocorrências entre 1945 e 2020			
	Anos	%	Média (mm)	CV (%)	Anos	%	Média (mm)	CV (%)
Seca	38	31,7	524,7	20,6	28	36,8	552,0	19,1
Normal	47	39,2	779,8	10,5	28	36,8	803,4	11,4
Chuvoso	35	29,2	1124,4	17,0	20	26,3	1104,6	18,4
Total	120	100,0	799,5	33,6	76	100,0	777,8	33,3

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022).

Observa-se na Tabela 2 que, entre 1901 e 2020, a precipitação média estimada para o Ceará foi de 799,5 mm com CV = 33,6%, e entre 1945 e 2020 a média foi de 777,8 mm com CV=33,3%, mostrando elevadas instabilidades da precipitação de chuvas em ambas as séries analisadas, classificadas como “Muito altas” (Gomes, 1985).

Na Tabela 3 se mostram as médias e os coeficientes de variação (CV) estimados para as variáveis utilizadas no estudo. Através das evidências apresentadas na Tabela 3, se pode inferir que a instabilidade pluviométrica observada no período investigado foi transmitida, num efeito *spill over* (transbordamento) praticamente para todas as variáveis que definiram as produções de arroz, feijão, mandioca e milho no Ceará, no período avaliado. Em relação aos períodos em

que a pluviosidade anual foi classificada, as maiores instabilidades observadas nas variáveis que definem a produção das lavouras estudadas estão nos períodos de seca, com exceção das áreas colhidas com feijão e mandioca, que foram mais instáveis nos períodos normais de pluviometria (Tabela 3).

Tabela 3 – Médias e coeficientes de variação (CV) de precipitação de chuvas, áreas colhidas, produtividades e valores da produção de arroz, feijão, mandioca e milho no estado do Ceará de 1945 a 2020

Variáveis	Seca		Normal		Chuvoso	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
Área colhida arroz (ha)	34677,68	50,28	43226,69	46,45	46990,72	28,32
Produtividade arroz (kg.ha ⁻¹)	1771,50	41,21	1973,64	30,95	2203,32	23,26
Preço do arroz (R\$.kg ⁻¹)	806,96	43,34	870,49	20,84	1144,89	37,12
Área colhida feijão (ha)	336095,71	43,62	385732,90	44,95	462814,5	28,38
Produtividade feijão (kg.ha ⁻¹)	260,48	45,49	431,63	28,05	331,80	31,59
Preço feijão (R\$.kg ⁻¹)	263,63	48,41	298,07	39,33	305,34	35,57
Área colhida mandioca (ha)	87500,61	41,01	88143,69	46,95	97308,41	21,57
Produtiv. mandioca ((kg.ha ⁻¹)	8843,20	35,93	11571,48	27,12	10242,52	27,36
Preço mandioca (R\$.kg ⁻¹)	736,84	50,87	811,38	43,05	921,73	33,40
Área colhida milho (ha)	368959,16	45,04	451570,83	37,92	525755,14	23,33
Produtiv. milho (kg.ha ⁻¹)	445,08	49,88	833,51	22,20	698,53	32,70
Preço milho (R\$.kg ⁻¹)	145,06	57,91	232,51	29,78	216,53	30,24
Anos de ocorrência	28		28		20	

Fontes: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022) e IBGE (1945-1973, 2020).

4.1 RESULTADOS ASSOCIADOS À AF PARA CONSTRUIR O ÍNDICE DE SINERGIA (SIN)

Os resultados encontrados na AF para estimar o índice de sinergia (SIN) são mostrados na Tabela 4. As doze variáveis originais são reduzidas a três fatores ortogonais. Observa-se que os ajustamentos foram todos robustos, de um ponto de vista estatístico, considerando que o teste de Bartlett evidencia que a matriz de correlação não é uma identidade. A estatística KMO = 0,620 e a variância total explicada (77,8%) pelos três fatores ortogonais criados, a partir das doze (12) variáveis estudadas, complementam a informação da robustez do ajustamento (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados da análise fatorial para criar o índice de sinergia (SIN)

Variáveis	Matriz dos componentes após rotação ortogonal ^a			Coeficientes estimados para a matriz de escores fatoriais ^b		
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₁	F ₂	F ₃
Área colhida com arroz (ha.ano ⁻¹)	0,131	0,380	0,670	0,042	0.151	0.240
Produtividade de arroz (kg.ha ⁻¹)	-0,054	0,723	-0,341	0,051	0.245	-0.112
Preço de arroz (R\$.kg ⁻¹)	0,034	-0,035	0,676	-0,019	-0.002	0.241
Área colhida com feijão (ha.ano ⁻¹)	-0,184	0,935	0,202	0,005	0.316	0.091
Produtividade de feijão (kg.ha ⁻¹)	0,958	-0,083	-0,010	0,289	0.042	-0.043
Preço de feijão (R\$.kg ⁻¹)	0,433	-0,422	0,674	0,075	-0.108	0.220
Área colhida com mandioca (ha.ano ⁻¹)	-0,280	0,293	0,764	-0,095	0.091	0.289
Produtividade de mandioca (kg.ha ⁻¹)	0,843	-0,296	0,109	0,233	-0.039	0.002
Preço de mandioca (R\$.kg ⁻¹)	0,081	-0,255	0,742	-0,024	-0.075	0.261
Área colhida com milho (ha.ano ⁻¹)	-0,056	0,943	0,087	0,050	0.327	0.044
Produtividade de milho (kg.ha ⁻¹)	0,879	0,325	-0,219	0,304	0.177	-0.110
Preço do milho (R\$.kg ⁻¹)	0,867	-0,245	0,340	0,235	-0.017	0.085
Variâncias explicadas	29,001	25,165	23,627			
	Variância acumulada		77,793			

Teste de esfericidade de Bartlett para a matriz de correlação entre as variáveis

Approx. Qui-quadrado:
917,835

Graus de liberdade: 66

Sig.: 0,000

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) = 0,620

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022); IBGE (1945-1973, 2020).

Nota: ^a método de extração: análise de componentes principais; ^b método de rotação: Varimax com normalização Kaiser; rotação convergiu em 5 iterações.

4.2 TESTE DE CONTRASTE PARA AVALIAR A RESILIÊNCIA NA PRODUÇÃO CEARENSE DE SEQUEIRO

A média estimada do SIN para os períodos de seca foi de 0,572 enquanto que o seu valor para os períodos que não foram de seca foi de 0,796. Os resultados do teste de contraste realizado para avaliar a existência de resiliência na produção de arroz, feijão, mandioca e milho no Estado do Ceará, entre 1945 e 2020, são apresentados na Tabela 5.

Na Tabela 5 estão mostrados os contrastes médios do SIN medindo as diferenças da sua média antes dos períodos “não secos” (0,797) e do SIN após os períodos “secos” (0,795). O valor p estimado para o teste “t” de “Student”, utilizado para avaliar a significância estatística existente nos contrastes, mostrou que não havia diferença significativa entre eles. Estes resultados sinalizam que as médias agregadas do SIN, antes e depois dos períodos de seca, são estatisticamente iguais e, como se observa, numericamente muito próximos. Desta forma, permitem concluir que não há razões para rejeitar as hipóteses de resiliência existentes na produção de arroz, feijão, mandioca e milho no Estado do Ceará, no período de 1945 a 2020.

Tabela 5 - Teste de contraste para avaliar a diferença do SIN antes e depois dos períodos de escassez no Estado do Ceará, de 1945 a 2020.

Contrastes	Diferenças entre pares classificados com 95% de probabilidade fiducial					
	Diferença média	Média antes dos períodos de seca	Média depois dos períodos de seca	Estatística t	Graus de liberdade	Sig.
Antes - Depois	0,001	0,797	0,795	0,029	17	0,977

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da NOAA (2022); IBGE (1945-1973, 2020).

Esses resultados colaboram com os encontrados na pesquisa de Lessa (2023), em que ficou constatada a existência de resiliência dos agricultores que cultivam lavouras de sequeiro entre os anos de 1974 e 2020, mesmo período estudado nesta pesquisa. Como está demonstrado na pesquisa de Lessa (2023) as instabilidades pluviométricas ocorridas na Paraíba naqueles anos foi bastante similar às observadas no Ceará.

Os resultados encontrados nesta pesquisa reforçam a hipótese de que os agricultores, apesar de sofrerem choques climáticos, ainda assim, conseguem buscar estratégias de sobrevivência com esse fenômeno natural recorrente, muitas vezes, de alta intensidade e de efeitos severo, tanto de um ponto de vista meteorológico como agrícola. Essa capacidade de adaptação dos agricultores favorece a continuidade das atividades agrícolas e a manutenção de renda para muitas famílias rurais do Ceará que tendo sido acometidas de seca, conseguem se recuperar quando acontecem pluviometrias mais favoráveis.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa conseguiu elaborar a classificação proposta para os períodos climáticos definidos a partir das pluviometrias observadas no estado do Ceará entre 1901 e 2020. Foram criados três (3) períodos a partir da precipitação pluviométrica: seco, normal e chuvoso. Além disso, ficou demonstrado que esses resultados também se ajustaram para o lapso de tempo compreendido entre os anos 1945 e 2020, em que há informações disponíveis para avaliar as produções das lavouras de sequeiro estudadas: arroz, feijão, mandioca e milho.

As evidências encontradas no estudo mostraram que, em geral, a precipitação observada no estado do Ceará, entre 1945 e 2020, foi instável, como esperado, e as instabilidades maiores foram observadas nos períodos de secas definidos nesta pesquisa, como também era esperado. Observou-se, como se supôs, que esses resultados são transmitidos para as variáveis utilizadas na investigação para a construção do índice de sinergia (SIN), para avaliar as produções de arroz, feijão, mandioca e milho no Estado entre 1945 e 2020.

A conclusão geral da pesquisa é que, apesar das dificuldades pluviométricas enfrentadas pelos agricultores, produtores de arroz, feijão, mandioca e milho no Ceará, no período investigado, esses atores conseguiram desenvolver capacidades adaptativas às instabilidades pluviométricas observadas nos 76 anos estudados e exibiram provas de auto-resiliência na produção destas culturas, após a ocorrência de secas, que se manifestaram em 31 dos 76 anos (40,8%) estudados.

Os resultados obtidos permitiram reforçar a recomendação para promover o aumento da resiliência. Isso sendo induzido pelo poder público, para o enfrentamento das instabilidades climáticas. Isso pode ser feito por meio do fortalecimento das políticas públicas, encorajadas em bases científicas, que intensifiquem a assistência técnica, o fomento à extensão rural, à utilização de cultivares de ciclos mais curtos e adaptados às intempéries climáticas. Essas ações e outras ações que incrementem a já demonstrada capacidade adaptativa dos agricultores cearenses, ajudando assim a elevar a resiliência ao estresse hídrico provocado pela ocorrência de secas.

Essas ações sinérgicas contribuirão para a redução da emigração desenfreada das áreas rurais para as áreas urbanas nesses períodos de dificuldades hídricas, tal como sugeriu o Relatório de Brundtland, contribuindo dessa forma para o desenvolvimento regional nas áreas rurais do semiárido cearense, na medida que as populações dessas áreas desenvolvem atividades que as incentivam a ficar nos locais onde nasceram, sempre viveram e desenvolveram as suas próprias culturas. Isso terá ressonância nas áreas urbanas, tendo em vistas que não serão pressionadas pela chegada de contingents populacionais que, com certeza, contribuirão para agravar as suas já desenvolvidas vulnerabilidades naturais e induzidas.

Portanto, observa-se que a pergunta motivadora desta pesquisa foi respondida: há evidências de capacidades adaptativas que tornam auto-resilientes os agricultores que cultivam lavouras de sequeiro no semiárido do estado do Ceará.

REFERÊNCIAS

- ALEMAW, B.; SIMALENGA, T. Climate Change Impacts and Adaptation in Rainfed Farming Systems: A Modeling Framework for Scaling-Out Climate Smart Agriculture in Sub-Saharan Africa. **American Journal of Climate Change**, v. 4, n. 4, p. 313-329, 2015. Doi: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2015.44025>
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C. I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. **Climatic Change**, v. 140, n. 1, p. 33-45, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>
- ATKINS, J. P., MAZZI, S. A.; EASTER, C. D. **Commonwealth vulnerability index for developing countries**: the position of small states. London: OECD Publishing. 2000. Doi: <https://doi.org/10.14217/9781848597167-en>
- BERKES, F. Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. **Natural Hazards**, n. 41, p. 283-295, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9036-7>
- BEYER, M. et al. Rainfall characteristics and their implications for rain-fed agriculture: A case study in the Upper Zambezi River Basin. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 2, p. 321-343, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.983519>
- BRITO, S. S. B. et al. Frequency, duration and severity of drought in the Semi-arid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5225>

BROOKS, N. **Vulnerability, risk and adaptation**: a conceptual framework. tyndall centre for climate change research. 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/200032746_Vulnerability_Risk_and_Adaptation_A_Conceptual_Framework/link/58ac004a458515040205dfb2/download.

CARVALHO, O. Nordeste semiárido: transformação de potencialidades em possibilidades econômicas. In: **Semiárido**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2010, p. 143-176

CHAN, L. L. Validity and reliability of the instrument using exploratory factor analysis and cronbach's alpha. **International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences**, v. 7, n. 10, p. 400-410, 2017. Doi:10.6007/IJARBSS/v7-i10/3387

COSTA FILHO, J. **Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a previsão da produção de lavouras de sequeiro em áreas sujeitas à desertificação (ASD) no semiárido do estado do Ceará**: casos de Irauçuba e Tauá. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. **American Economic Review**, v. 97, n. 1, p. 354-385, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1257/aer.97.1.354>

DEVENDRA, C. Rainfed agriculture: its importance and potential in global food security. *Utar. Agriculture Science Journal*, v. 2, n. 2, p. 4-17, 2016.

DUQUE, J. G. **Solo e água no polígono das secas**. Salvador: ABC Gráfica, 1973.

FÁVERO, L. P; BELFIORE, P. **Handbook of data analysis**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 2017.

FERNANDES, D. S. et al. **Indices for the quantification of drought**. Embrapa Arroz e Feijão, 244. 2009.

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.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Climate-smart Agriculture Sourcebook**. 570, 2013.

FRAITURE, C., KARLBERG, L.; ANDROCKSTRÖM, J. Can Rainfed Agriculture Feed the World? An Assessment of Potentials and Risk. In: WANI, S.P.; ROCKSTRÖM, J.; OWEIS, T. **Rainfed Agriculture**: Unlocking the Potential. London, UK. 2009, p. 124-132. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/254426141>.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. **Índice Geral de Preços (IGP-DI)**. 2022. Disponível em: https://portalibre.fgv.br/?utm_source=portal-fgv&utm_medium=menuindices&utm_campaign=portal-fgv-menu-indices

GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação de coeficientes de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989.

GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY - GEF. **Strengthening the Adaptive Capacity and Resilience of Communities in Uganda's water sheds**, 2019. Disponível em: https://www.thegef.org/sites/default/files/webdocuments/10203_LDCE_Uganda_PIF.pdf

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1985.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. 71. ed. New York: Stern School of Business; New York University, 2012.

GUILLAUMONT, P.; SIMONET, C. **Designing an index of structural vulnerability to climate change**. FERDI-Fondation pour les études et recherches sur le Développement International, France, 2011.

GURJÃO, N. O. **Avanços da degradação ambiental na região Nordeste do Brasil**. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2020

HAHN, M., RIEDERER, A.; FOSTER, S. The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change: A case study in Mozambique. **Global Environmental Change**, v. 19, n. 1, p. 74-88. 2009. Doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002

HAMER, A.J. et al. A new method of comparative bone strength measurement, **Journal of Medical Engineering & Technology**, v. 19, n. 1, p. 1-5. 1995. Doi: <https://doi.org/10.3109/03091909509030263>

HANJRA, M.A.; QURESHI, M. E. Global water crisis and future food security in an era of climate change. **Food Policy**, v. 35, p. 365–377, 2010. Doi: 10.1016/j.food pol.2010.05.006

HASSAN, S. et al. Using Factor Analysis on Survey Study of Factors Affecting Students' Learning Styles. **International journal of applied mathematics and informatics**, v. 6, n. 1, p. 33-40, 2012. Disponível em: <https://www.naun.org/multimedia/UPress/ami/17-667.pdf>

HDR (HUMAN DEVELOPMENT REPORT). New York: United Nations Development Program, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1973. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=720&view=detalhes>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E Estatística - IBGE. **Produção Agrícola Municipal – PAM**. IBGE/SIDRA. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2017: resultados finais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E ESTRATÉGICA DO CEARÁ - IPECE.
Suscetibilidade à desertificação dos municípios do estado do Ceará. Fortaleza, Ceará.
2018.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT – IIED.
Reviving knowledge: India's rainfed farming, variability and diversity. 2015. Disponível em:
<https://pubs.iied.org/pdfs/17307IIED.pdf>.

JESUS, E. T. et al. Meteorological and hydrological drought from 1987 to 2017 in the Doce River watershed, Southeastern Brazil. **Scientific Technical Article**, RBRH, v. 25, n. 6, p. 1-10, 2020.

LEMOS, José de Jesus Sousa. Vulnerabilidades induzidas no Semiárido Brasileiro. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 245–268, 2020. Doi:
[10.24302/drd.v10i0.2728](https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2728).

LEMOS, J. J. S. **Mapa da exclusão social no Brasil:** Radiografia de um País assimetricamente pobre. Fortaleza, CE. Banco do Nordeste do Brasil. 2012.

LESSA, L.C.R. **Resiliência e sustentabilidade da agricultura de sequeiro sob instabilidade pluviométrica na Paraíba.** 2023. 91 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-Graduação em Economia Rural. Fortaleza, 2023.

MACHADO, L. M. **Climate change resilient development of family farmers in the Brazilian semi-arid: an analysis of public policies and of the coexisting with the semi-arid paradigm.** 2018. 161 f. Tese (doutorado) - Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

MAHESWARI, M. et al. Climate Resilient Crop Varieties for Sustainable Food Production under Aberrant Weather Conditions. **Central Research Institute for Dryland Agriculture (ICAR)**, Hyderabad, 2015.

MALLARI, A. E. C. Climate Change Vulnerability Assessment in the Agriculture Sector: Typhoon Santi Experience. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, n. 216, p. 440 – 451. 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.058>

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da 118 Academia Brasileira de Ciências.** São Paulo, 2017. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/en/publicacao/161696/climatic-characteristics-of-the-2010-2016-drought-in-the-sem>

MARENGO, J. A., CUNHA, A. P. ; ALVES, L. M. The 2012-15 drought in the semiarid Northeast of Brazil in historical context. **Climanalysis Journal**, n. 3, p. 49-54, 2016.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1-2, p. 104-115, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>

MCCLAVE, J. T., BENSON, P. G. ; SINCICH, T. **Statistics for Business and Economics**. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.

MELO, R. F. et al. Água para o fortalecimento dos sistemas agrícolas dependentes de chuva. In: MELO, R.F.; VOLTOLINI, T.F. **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 188 – 228.

MENDELSON, R. The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries. **Journal of Natural Resources Policy Research**, v. 1, n. 1, p. 5–19, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1080/19390450802495882>

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 391, p. 202-216, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>

MONTEIRO, A. P.; LEMOS, J. J. S. Inequalities in the distribution of Pronaf resources among Brazilian regions. **Revista de Política Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 6-17, 2019.

MOURA, J. E. A.; CAMPOS, K.C. Condicionantes da produção das lavouras temporárias da agricultura familiar nos municípios nordestinos no período 2006/2017. **Desenvolvimento Regional em debate**, v. 15, p. 636-662, 2025.

NAIRY, K. S.; RAO, K. A. Tests of Coefficients of Variation of Normal Population. **Communications in Statistics - Simulation and Computation**, v. 32, n. 3, p. 641-661, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1081/SAC-120017854>

NATIONAL OCEANIC & ATMOSPHERIC AGENCY - NOAA. **Global Historical-Monthly Climatology Network (GHCN-M)**. 2022. Disponível em: <https://www.globalclimatemonitor.org/#>

NUNES, L. F. C. V. ; MEDEIROS, P. H. A. Historical analysis of drought severity in Ceará: effects of hydraulic capital acquisition on society. Rev. Gest. Água Am. Lat., Porto Alegre, REGA - **Latin American Journal of Water Management, Technical Note Section**, v. 17, n. 18, p. 1-14, 2020..

OBERMAIER, M. **Velhos e novos dilemas nos sertões: mudanças climáticas, vulnerabilidade e adaptação no semiárido brasileiro**. 2011. 167 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

PEDRO-MONZONÍS, M. et al. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. **Journal of Hydrology** (Amsterdam), n. 527, p. 482-493, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>

PEREIRA, G. R. **Correlação entre as secas e as perdas na agricultura de sequeiro no Semiárido Nordeste**, 2018. Disponível em: https://editorarealize.com.br/revistas/conadis/trabalhos/TRABALHO_EV116_MD1_SA2_3_ID185_19112018114546.pdf.

PIACENTI, C.A. et al. **Economia e desenvolvimento regional**. Foz do Iguaçu: Editora Parque Itaipú. 2016.

PIMM, S. **The balance of nature**. Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 1991.

PRAXEDES, A. L. F. **Sinergia e resiliência entre a seca e a produção agrícola de sequeiro no semiárido do Ceará**. 2021. 97 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

RAI, R. K. et al. Assessing climate-resilient agriculture for small holders. **Environmental Development**, v. 27, p. 26-33, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.06.002>

RAO, C. S. et al. Climate Resilient Rainfed Agriculture. **Indian Farming Agriculture**, v. 66, n. 2, p. 02-06, 2016.

RAO, C.S. ; GOPINATH, K.A. Resilient rainfed technologies for drought mitigation and sustainable food security. **Mausam**, v. 67, n. 1, p. 169-182, 2021. Doi: <https://doi.org/10.54302/mausam.v67i1.1174>

REY, D.; HOLMAN, I. P.; KNOX, J. W. Developing drought resilience in irrigated agriculture in the face of increasing water scarcity. **Regional Environmental Change**, v. 17, p. 1527–1540, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1116-6>

ROSENZWEIG, C. ; HILLEL, D. Climate change, agriculture and sustainability. In: LAL, R. et al. **Climate change and global food security**. London, UK: Taylor & Francis, 2005. P. 243-268.

SAIN, G. et al. Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in **Guatemala**. **Agric. Syst**, v. 151, p. 163–173, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.004>

SALVIANO, J. I. de A. **Relações entre instabilidades das chuvas e indicadores de produção de lavouras de sequeiro no semiárido cearense, Brasil**. 2021. 131 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2021.

SALVIANO, J.I.A., PRAXEDES, A. L. F. ; LEMOS, J. J. S. Sinergias entre as instabilidades pluviométricas e a produção de lavouras de sequeiro no Semiárido cearense. **Revista Cerrados**, Montes Claros/MG, v. 18, n. 2, p. 371-394, 2020.

SAMUELS, P. Paired Samples t-test. **Stats tutor**. Technical Report. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274635625_Paired_Samples_t-test.

SANTOS, C.; DIAS, C. Note on the coefficient of variation properties. **Brazilian Electronic Journal of Mathematics**, v. 2, n. 4, jul/dez, p. 101-111, 2021. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/BEJOM/article/view/58062/31341>.

SATHYAN, A. R. et al. Climate vulnerability in rainfed farming: analysis from Indian Watersheds. **Sustainability**, v. 10, n. 9, 3357, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/su10093357>

SINGH, M. et al. Dry and rainfed agriculture-characteristics and issues to enhance the prosperity of indian farming community. **BEPLS**, v. 6, n. 10, 2018.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE.

Delimitação do semiárido – 2021: Relatório final. Ministro do Desenvolvimento Regional. Recife, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-deconteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>

THORNTON, P. et al. Climate change and poverty in Africa: Mapping hotspots of vulnerability. **African Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 2, n. 1, p. 24-44. 2008. Doi: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.56966>

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. **Human Development Report 2014:** Reducing Vulnerabilities and Building Resilience. New York, USA: Plaza, 2014.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.

WOLI, P. et al. W. Agricultural reference index for drought (ARID). **Agronomy Journal**, v.104, n. 2, p. 287-300, 2012. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0286>

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory econometrics:** a modern approach. South Western Educational Publishing, 2013.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Standardized precipitation index user guide.** (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood), (WMO-No. 1090), Geneva. 2012.

XU, M. et al. The differences and similarities between two-sample t-test and paired t-test. **Shanghai Arch Psychiatry**, v. 29, n. 3, p. 184–188, 2017. Doi: <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.217070>.