PRODUÇÃO DE LAVOURAS SELECIONADAS DE SEQUEIRO NAS REGIÕES CLIMÁTICAS DEFINIDAS PARA O ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL

PRODUCTION OF SELECTED RAINFED CROPS IN THE CLIMATIC REGIONS DEFINED FOR THE STATE OF MARANHÃO, BRAZIL

Erika Costa Sousa
Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Economia Rural.
Universidade Federal do Ceará (UFC).
erikacosta@alu.ufc.br

José de Jesus Sousa Lemos
Professor do Programa de Pós Graduação em Economia Rural.
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Pesquisador Bolista de Produtividade do CNPq
lemos@ufc.br

Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes
Professor da Universidade do Estado do Maranhão (UEMA)
ronaldomenezes@professor.uema.br

Grupo de Trabalho (GT): GT7. Desenvolvimento rural, territorial e regional

Resumo
Os objetivos da pesquisa foram: a) Classificar a precipitação de chuvas no Maranhão entre os anos de 1901 a 2020 em períodos: Escassez; Normal e Chuvoso; b) aferir a produção per capita de lavouras de sequeiro nesses três períodos; c) avaliar se as regiões climáticas criadas para o estado apresentam diferenças em suas respectivas médias de precipitação e temperatura do ar, considerando as séries de precipitação e temperatura observadas entre os anos de 1901 a 2020; d) Avaliar as instabilidades da precipitação de chuvas e das temperaturas anuais do ar no Maranhão entre os anos de 1901 a 2020, com desdobramento para as 10 sub-regiões climáticas em que o estado foi dividido; e) avaliar o comportamento agregado das culturas de sequeiro nessas diferentes regiões. Os dados foram coletados junto à NOAA (2022), aos Anuários Estatísticos e das Pesquisas Agropecuárias Municipais (PAM) do IBGE. Foram empregadas variáveis *dummies* para testar se as dez regiões climáticas apresentavam médias diferentes de precipitação de chuvas e de temperaturas anuais. Para avaliar a adequação das safras de arroz, feijão, mandioca e milho às regiões criadas, utilizou-se o método de análise fatorial para agregar as áreas colhidas, produtividades, preços e precipitação nos 217 municípios do estado do Maranhão. Os resultados demonstraram que o Maranhão possui dez regiões com regimes de precipitação cujas médias anuais diferem entre si. Também ficou evidente que o mesmo não se aplica às médias anuais de temperaturas, em que se contabilizam apenas nove regiões. Observou-se que a produção agrícola agregada se condensa em cinco regiões climáticas.
Palavras-chave: Instabilidade climática; Produção agrícola de sequeiro; Desenvolvimento rural; Produção Per capita de alimentos; Zoneamento da produção agrícola.

Abstract
The objectives of the research were: a) to classify rainfall in Maranhão between 1901 to 2020 into periods: Scarce; Normal and Rainy; b) to gauge the per capita production of rainfed crops in these three periods; c) to assess whether the climatic regions created for the state show differences in their respective rainfall and air temperature averages, considering the rainfall and temperature series observed between the years 1901 to 2020; d) Evaluate the instability of rainfall and annual air temperatures in Maranhão between 1901 to 2020, broken down into the 10 climatic sub-regions into which the state was divided; e) Evaluate the aggregate behavior of rainfed crops in these different regions. The data was collected from NOAA (2022), the Statistical Yearbooks and the IBGE's Municipal Agricultural Surveys (PAM). Dummy variables were used to test whether the ten climatic regions had different averages of rainfall and annual temperatures. In order to assess the suitability of

the rice, beans, cassava and corn crops for the regions created, the factor analysis method was used to aggregate the harvested areas, yields, prices and rainfall in the 217 municipalities in the state of Maranhão. The results showed that Maranhão has ten regions with rainfall regimes whose annual averages differ from one another. It is also clear that the same does not apply to the annual temperature averages, where there are only nine regions. It was observed that aggregate agricultural production is concentrated in five climatic regions.
***Key words**: Climate instability; Rainfed agricultural production; Rural development; Per capita food production; Agricultural production zoning.*

1. Introdução

O Maranhão é um dos nove (9) estados mais pobres do Brasil. Ele está localizado no extremo oeste do Nordeste do Brasil, fazendo fronteira ao norte com o Oceano Atlântico; a leste e sudeste, compartilha seus limites com o estado do Piauí; ao sul e sudoeste, faz divisa com o estado do Tocantins, e a oeste e noroeste, com o estado do Pará. Sua área total é de 329.651.496 km², o que corresponde a aproximadamente 21,20% da área total da região Nordeste, tendo o segundo litoral mais extenso do país, com impressionantes 640 km. O Maranhão é um estado rico em recursos naturais, mas possui a população mais pobre do Brasil. Sua população de 7.114.598 habitantes em 2020 teve um PIB per capita de apenas USD 5.780,06, o mais baixo entre todos os estados brasileiros naquele ano (IBGE, 2022).

O estado é amplamente dominado pelo clima tropical, com volumes anuais de chuva que, desde que se tem registros de pluviometrias que começou em 1901, atingiram um máximo no ano de 1985, com 2.676,27 milímetros, enquanto que em 1983 obteve a menor média de chuva com 1.042,81 milímetros. Esses valores giraram em torno de uma média de 1.624,78 mm com um coeficiente de variação de 17,42% (NOAA, 2022).

Segundo Montebeller (2007), em certas regiões do estado, a distribuição das chuvas é condicionada por aspectos estático-fisiográficos, como latitude, distância do oceano e efeitos orográficos. Além disso, os movimentos de massas de ar (fatores dinâmicos) que estão relacionados entre si caracterizam os índices pluviométricos de uma região definida. De acordo com Lemos (2020), na parte leste do estado do Maranhão, existem pelo menos 45 municípios que possuem características semiáridas. O Governo Federal reconheceu em 2021 que existem 16 municípios nessa parte do estado que são considerados como parte do clima semiárido no Brasil. Essas informações corroboram para demonstrar a diversidade climática do Maranhão (Lemos, 2020; SUDENE 2021).

A agricultura do estado é heterogênea devido à sua diversidade climática, e à predominância de solos de eficiência limitada para os cultivos, devido ao alto processo de devastação das áreas e à heterogeneidade climática (Duque, 1980).

As atividades agrícolas de sequeiro, são de grande relevância para o estado. Como dependem exclusivamente das chuvas para se desenvolverem, são bastante vulneráveis às instabilidades climáticas. Entende-se que solo e clima controlam o desenvolvimento e crescimento das culturas e, portanto, as circunstâncias ambientais precisam ser devidamente analisadas antes de realizar qualquer atividade agrícola (Becerra & Bitencourt, 1999; Bezerra, 2022; Duque,1980; INPE, 2016; Silva *et al*., 1993).

Sendo assim, o zoneamento da produção agrícola torna-se importante, considerando que um de seus objetivos essenciais é a identificação, caracterização e delimitação cartográfica e espacial de regiões ou "zonas" com aptidões climáticas e de solo que proporcionem o uso ecofisiológico adequado para determinadas culturas. Segundo Ramalho Filho e Motta (2010), o zoneamento possibilita determinar o local e o momento mais viável para o plantio e fornece componentes para a implantação e aumento da produtividade da terra das culturas de forma sustentável.

Menezes (2009), baseado em vinte anos de observações de precipitação coletadas nos 217 municípios do Maranhão, dividiu o estado em dez (10) regiões climáticas. Nesta pesquisa, tentou-se avaliar se essas regiões se mantêm com base em uma série de

precipitações pluviométricas que abrange o período de 1901 a 2020. De acordo com a proposta de regionalização, essas áreas são compostas por municípios com características de precipitação convergentes ou similares em cada região, mas diferentes entre elas. No quadro 1 se identificam as regiões definidas no trabalho de Menezes (2009), bem como as quantidades de municípios que cada uma delas contém.

Quadro 1 - Identificação e quantidade de municípios incluídos nas regiões climáticas criadas para o Estado do Maranhão

Regiões	Identificação	Municipios
R1	Litoral Ocidental	42
R2	Itapecuru Mirim	25
R3	Baixo Parnaíba	23
R4	Baixada Maranhense	24
R5	Cocais	18
R6	Alto Mearim e Grajaú	24
R7	Chapada do Alto Itapecuru	26
R8	Imperatriz	21
R9	Chapada das Mangabeiras	7
R10	Gerais de Balsas	7
Total	Estado do Maranhão	217

Fonte: Menezes, 2009

Ancorada nessas informações esta pesquisa pretende responder às seguintes questões: 1) É possível classificar a pluviometria ocorrida no Maranhão entre 1901 a 1920 em períodos de escassez, normalidade e chuvoso inclusive definindo produções per capita de produtos da agricultura de sequeiro nessas três categorias? 2) As dez regiões estabelecidas naquele trabalho de Menezes (2009) se mantém em um cenário em que as séries de precipitações de chuvas e de temperaturas se estendem por 120 anos?; 3) Caso essas dez regiões se confirmem, como se comportam, de forma agregada, as variáveis que definem as produções das lavouras de sequeiro praticadas no Maranhão em cada uma dessas regiões?

Para responder a essas questões a pesquisa tem como objetivos específicos: a) Classificar a precipitação de chuvas no Maranhão entre os anos de 1901 a 2020 em períodos: Escassez; Normal e Chuvoso; b) aferir a produção per capita de lavouras de sequeiro nesses três períodos; c) avaliar se as regiões climáticas criadas para o estado apresentam diferenças em suas respectivas médias de precipitação e temperatura do ar, considerando as séries de precipitação e temperatura observadas entre os anos de 1901 a 2020; d) Avaliar as instabilidades da precipitação de chuvas e das temperaturas anuais do ar no Maranhão entre os anos de 1901 a 2020, com desdobramento para as 10 sub-regiões climáticas em que o estado foi dividido; e) avaliar o comportamento agregado das culturas de sequeiro nessas diferentes regiões.

2. Material e Método

As informações de precipitações pluviométricas e de temperaturas do ar são disponibilizadas pela Agência Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA), no período de 1901/2020. As informações acerca das lavouras estudadas foram coletadas junto ao banco de dados Sidra e Anuários Estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia IBGE. O período de disponibilidade de dados se estende de 1974 a 2020, em nível municipal e de 1933 a 2020 em nível estadual. As culturas que compõem a série estudada são: arroz, feijão, mandioca e milho.

2.1 Metodologia utilizada para atingir o objetivo "a"

Com a finalidade da criação do modelo de distribuição temporal de chuvas no Maranhão entre 1901 a 2020, realiza-se o enquadramento das precipitações pluviométricas em três períodos: escassez, normal e chuvoso. Estimam-se a média e o desvio padrão histórico (DP) das chuvas. E se definem os períodos de acordo com o que é mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação da chuva em 3 períodos distintos

Período	Intervalo de variação
Escassez	Pluviometria < Média do período – 0,5 Desvio padrão (DP)
Normal	Pluviometria = Média do período ± 0,5 Desvio padrão (DP)
Chuvoso	Pluviometria > Média do período + 0,5 Desvio padrão (DP)

Fonte: Lemos e Bezerra (2019)

Para confirmar se as médias estimadas das pluviometrias são estatisticamente diferentes, utilizam-se. Neste variáveis *dummies*. De acordo com Gujarati e Porter (2011), um modelo com variáveis dummies, ou binárias, que adaptado para este estudo pode ser definido como na equação (1):

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \mu_t \quad (1)$$

Em que D_1 e D_2 são variáveis binárias (*dummies*) definidas da forma a seguir:

$D_1 = 0$ nos anos de escassez de chuvas e abundâncias;
$D_1 = 1$ nos anos de período de normalidade;
$D_2 = 0$ nos anos que compõem os períodos de escassez e de normalidade;
$D_2 = 1$ nos anos que contabilizados como períodos de abundâncias;
$D_1 = D_2 = 0$ nos períodos de escassez de chuvas.

Observa-se que na equação (1) a variável (Y_t) é a pluviometria anual observada no município "i" no ano t (t = 1901, 1902, 1903.... 2020). O parâmetro (β_0), sendo estatisticamente diferente de zero e $D_1 = D_2 = 0$ é o coeficiente linear que irá estimar a média pluviométrica dos períodos de escassez. Sendo o parâmetro estimado (β_1) estatisticamente diferente de zero, significa que a pluviometria média no período de normalidade difere das médias dos demais períodos. O coeficiente angular (β_2), sendo estatisticamente diferente de zero, indicará que a pluviometria média nos anos dos períodos chuvosos é diferente daquelas estimadas nos demais períodos.

O termo aleatório (μ_t, por hipótese, tem média zero, variância constante e não é auto-correlacionado ("ruído branco"). Conforme Gujarati e Porter (2011) e Wooldridge (2015) os parâmetros da equação (1) podem ser estimados utilizando-se a técnica dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

Diante dessas características, e devido à utilização desses critérios, espera-se que a pluviometria média dos anos chuvosos seja maior, numérica e estatisticamente, do que a analisada nos anos de pluviometrias normais que, por sua vez, seja maior do que as precipitações pluviométricas nos períodos de escassez nos municípios do estado do Maranhão entre 1901 a 2020.

2.2. Metodologia para atingir o objetivo "b"

O Objetivo "b" busca aferir a produção per capita de lavouras de sequeiro nesses três períodos. Para tanto se agregam as produções anuais no estado de arroz, feijão, mandioca e milho, no período de 1933 a 2020, e computam-se as suas populações no mesmo periodo. As produções per capita são alcançadas dividindo-se as produções anuais agregadas das lavouras

pelas populações de cada ano. Computam-se os valores médio, máximo e mínimo dessas produções per capita em cada periodo em que a pluviometria do estado foi dividida.

2.3 Metodologia utilizada para atingir o objetivo "c"

Para avaliar se as regiões climáticas criadas para o estado apresentam diferenças em suas respectivas médias de precipitação pluviométrica e temperaturas do ar, considerando as séries de precipitação pluviométrica e de temperaturas observadas entre os anos de 1901 a 2020, é utilizado o modelo da equação (2).

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 D_4 + \beta_5 D_5 + \beta_6 D_6 + \beta_7 D_7 + \beta_8 D_8 + \beta_9 D_9 + \varepsilon_{rt} \quad (2)$$

Neste caso, a variável Y_{it} pode ser tanto a precipitação pluviométrica quanto a temperatura anual dos municípios. As variáveis D_r (r = 1, 2, ..., 9) são variáveis dummy (binárias) que assumem os seguintes valores:

D1 = 1, em R1, definida como Litoral Ocidental, ou D1 = 0 nas outras regiões;
D2 = 1, em R2, definida como Itapecuru Mirim, ou D2 = 0 nas outras regiões;
D3 = 1, em R3, definida como Baixo Parnaíba, ou D3 = 0 nas outras regiões;
D4 = 1, em R4, definida como Baixada Maranhense, ou D4 = 0 nas outras regiões;
D5 = 1, em R5, definida como Cocais, ou D5 = 0 nas outras regiões;
D6 = 1, em R6, definida como Alto Mearim e Grajaú, ou D6 = 0 nas outras regiões;
D7 = 1, em R7, definida como Chapada do Alto Itapecuru, ou D7 = 0 nas outras regiões.
D8 = 1, em R8, definida como Imperatriz, ou D8 = 0 nas outras regiões.
D9 = 1, em R9, definida como Chapada das Mangabeiras, ou D9 = 0 nas outras regiões.
Quando D1 = D2 = D3 = D4 = D5 = D6 = D7 = D8 = D9 = 0, o coeficiente linear da equação (1) será a média de precipitação pluviométrica de R10, definida como General de Balsas.

Se alguns, ou todos os, valores estimados de βr (r = 0, 1, 2, ..., 9) forem estatisticamente diferentes de zero, isso significa que a precipitação pluviométrica e/ou a temperatura (conforme a análise esteja sendo feita para aferição das precipitações ou temperaturas) têm médias diferentes. O termo aleatório ε_{rt}, por hipótese, é um ruído branco. De acordo com Wooldridge (2015) e Gujarati e Porter (2011), sob a condição de que as hipóteses relacionadas aos termos aleatórios sejam atendidas, os coeficientes lineares e angulares da equação (2) podem ser estimados usando o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

2.4 Metodologia utilizada para atingir o quarto objetivo específico

Para alcançar este objetivo a pesquisa avaliou as instabilidades da precipitação anual, bem como das temperaturas anuais do ar do Maranhão entre os anos de 1901 a 2020, com desdobramento para as 10 sub-regiões climáticas nas quais o estado foi dividido.

A estratégia metodológica utilizada foi utilizar o coeficiente de variação (CV), tal como havia sido feito na pesquisa de (Lemos, Bezerra, 2019). Por definição, o CV afere a relação percentual entre o desvio padrão e a média aritmética de uma variável aleatória. De acordo com Gomes (1985), pode-se escalonar o CV associado a uma variável aleatória de acordo com as suas amplitudes tal como mostrado no Quadro 3. Portanto, quanto mais próximo de zero estiver o CV relacionado à distribuição de uma variável aleatória, mais homogênea, ou estável, será a distribuição das observações em torno da sua média. Embora não haja um limite superior, para usar o CV como medida de homogeneidade/heterogeneidade ou de estabilidade/instabilidade da distribuição de uma variável aleatória, é necessário definir seus valores críticos. Gomes (1985) estabeleceu as amplitudes a seguir para as classificações dos CV (Quadro 3).

Quadro 3 - Classificação do coeficiente de variação (CV) de acordo com sua amplitude

Classificação do CV	Amplitude do CV
Baixo	CV < 10%
Médio	10% ≤ CV < 20%
Alto	20% ≤ CV < 30%
Muito Alto	CV ≥ 30%

Fonte: Gomes, 1985.

Dessa forma, a vantagem de usar o CV neste modelo de avaliação, em relação a outras medidas de variabilidade é que ele é independente das unidades em que as variáveis são medidas. Assim, permite a comparação de homogeneidades/heterogeneidades ou estabilidades/instabilidades entre variáveis medidas em diferentes unidades de medida (Allison, 1978; FAO, 2006; Garcia, 1989; Lemos, Bezerra, 2019; O'Reilly *et al.*, 1989; Punt, 2003; Wiersema, Bantel, 1993).

2.4 Metodologia utilizada para atingir o objetivo "e" .

Para avaliar a associação entre as áreas colhidas, produtividades e preços de arroz, feijão, mandioca e milho, foram selecionadas variáveis em níveis estaduais e municipais. Os dados foram agregados usando média ponderada. A estimação dos pesos aplicados na ponderação foi realizada usando o método de análise fatorial, com a técnica de decomposição em componentes principais (Fávero & *Belfiore*, 2017; Hair Jr. *et al*, 2009).

De acordo com Fávero & Belfiore (2017), a análise fatorial é uma técnica interdependente que visa resumir a relação entre um conjunto de variáveis de maneira sinérgica, a fim de identificar fatores comuns de um fenômeno. O principal objetivo da análise fatorial é simplificar ou reduzir um número "n" de variáveis observadas para um grupo menor "p" de variáveis não observadas (p < n), chamadas de fatores. Portanto, a interpretação e compreensão das dimensões obtidas ao realizar a análise fatorial caracterizam os dados em quantidades menores do que a quantidade de variáveis originais. E isso se deve à correlação entre as variáveis. Por outro lado, King (2001) e Hair *et al*. (2005) afirmam que a redução de dados pode ser obtida calculando os escores dos fatores de cada dimensão latente e substituindo as variáveis originais por esses fatores que agregam, em menor número, as informações compreendidas nas variáveis originais.

Conforme Lemos (2015), o modelo de análise fatorial pode ser representado da seguinte forma na equação (3):

$$X = \alpha f + \varepsilon \qquad (3)$$

Onde:

$X = (X_1, X_2, ..., X_p)^T$ é um vetor transposto de variáveis aleatórias observáveis; $f = (f_1, f_2, ..., f_r)^T$ é um vetor transposto $r < p$ de variáveis não observáveis, ou variáveis latentes, chamadas de fatores; α é uma matriz (p x r) de coeficientes fixos chamados de cargas fatoriais; $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, ..., \varepsilon_3)^T$ é um vetor de termos aleatórios transpostos. Geralmente, $E(\varepsilon) = E(f) = 0$. Uma propriedade complementar relacionada aos fatores é que eles são ortogonais (Dillon & Goldstein, 1984; Fávero & Belfiore, 2017; Hair Jr. *et al*, 2009; Lemos, 2015).

Para realizar a análise fatorial (AF), é necessário que a matriz das variáveis originais não seja uma identidade. Assim, o primeiro passo para realizar a AF é avaliar as correlações entre as variáveis que compõem as diagonais secundárias da matriz de correlação. Para confirmar que a matriz de correlação não é uma identidade, utiliza-se o teste de esfericidade de Bartlett, que segue uma distribuição qui-quadrado. Para confirmar que a AF pode ser utilizada, também são realizados os seguintes procedimentos: calcula-se a estatística de

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que deve ter um valor entre 0,5 e 1,0, assim como as comunalidades que devem ser maiores do que 0,5. Também se observa a porcentagem de variância total explicada pelos componentes fatoriais estimados, que deve ser superior a 50%.

Quando mais de um fator é estimado, as técnicas de AF permitem a rotação ortogonal ou oblíqua dos fatores estimados. Nesta pesquisa, optou-se por realizar a rotação ortogonal, utilizando a técnica de varimax, para gerar componentes independentes que possibilitem a construção do índice de produtividade (IPD) (Fávero & Belfiore, 2017).

Através da AF se geram escores de fatores (EF_s) linearmente independentes, uma vez que a rotação ortogonal foi realizada. Esses EF_s possuem média zero e variância um. São esses EF_s que são usados para construir índices, que geralmente assumem valores positivos. Como os EF_s apresentam valores positivos e negativos (por isso tem média zero), para gerar índices positivos, é necessário realizar-lhes uma transformação para que sejam padronizados de forma que todos os valores sejam estritamente não nulos. Isso é alcançado utilizando a transformação mostrada na equação (4):

$$FE_{ijP} = \frac{(FEt - FEmn)}{(FEmx - FEmn)} \quad (4)$$

De modo que: FE_{ijP} = j-th (j = 1,2,...,p) é o escore de fator padronizado associado ao i-ésimo município; FE_{jmx} = valor máximo, que deve ser assumido pelo escore de fator; FE_{jmn} = valor mínimo associado pelo escore de fator.

Para a construção do índice de produtividade que capturará a sinergia entre as variáveis, utiliza-se a média geométrica, na qual o Índice de Produtividade (IPD) é definido utilizando as médias, de acordo com a equação (5).

$$\text{IPDj} = \sqrt[x]{\prod EF_{Pj}} \quad (5)$$

De modo que IPD_j se refere ao índice de produtividade associado ao j-ésimo município (j = 1, 2, ..., 217) do Maranhão no ano t (t = 1974, 1975, ..., 2020). Construído dessa maneira, o índice estará contido entre zero e um. Para facilitar a compreensão, o índice é convertido em valores percentuais, gerando o valor mais alto igual a 100 e os demais sendo ajustados como demonstrado na equação (6).

$$PI_{j100} = \left(\frac{PI_j}{PI_{jMÁXIMO}}\right) \times 100 \quad (6)$$

3. Resultados e Discussão

Tal como se procedeu na descrição da metodologia, os resultados também serão apresentados segundo a cronologia em que foram apresentados os objetivos.

3.1 Resultados encontrados para o objetivo “a”

Dispondo da série histórica de precipitação de chuvas para o Maranhão entre os anos de 1901 a 2020, estimou-se uma média anual de 1.624,78 mm (Tabela 1). Em torno dessa média, gravitaram pluviometrias que variaram de um mínimo de 1.042,81 mm no ano de 1983 a uma pluviometria máxima ocorrida em 1985 que foi de 2.676,27 mm (Tabela 1). O desvio padrão foi de (283,04 mm, que proporcionou um CV de 17,4%, portanto, considerado médio na escala criadas por Gomes (1985). Com base nessas informações definiram-se os períodos mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos períodos de chuva definidos

Período	Intervalo de variação (mm)	N° de anos	Média	CV (%)
Total	-	120	1.624,78	17,42
Escassez	Chuva < 1.436,26	30	1.282,09	8,75
Normal	1.436,26 ≤ Chuva < 1.756,89	57	1.606,72	4,93
Chuvoso	Chuva ≥ 1.773,71	33	1.967,50	10,63

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Assim, o período de escassez, que teve pluviometria média de 1.282,09mm, ficou definido com precipitações inferiores a 1.436,26. Esse período ocorreu em 30, dos 120 anos de observações. Nesse período de escassez as instabilidades pluviométricas aferidas pelo CV=8,75% foram consideradas baixas. As pluviometrias para o período de normalidade, que ocorreram durante 57 anos, oscilaram entre 1.436,2mm e 1.756,89mm em torno de uma média de 1.606,72mm. A instabilidade aferida por um CV=4,93% foi considerada baixa. As pluviometrias enquadradas no período chuvoso ocorreram durante 33 anos, com uma instabilidade média (CV=10,63%), e com pluviometrias superiores a 1.773,71mm. A pluviometria média estimada para esse período foi de 1967,5mm (Tabela 1).

Na Tabela 2 se mostram os resultados adquiridos na comparação dos períodos das precipitações pluviométricas determinados anteriormente. Com base na realização da regressão simples com a ajuda de variáveis *dummies*, verifica-se que todos os períodos são estatisticamente diferentes com pelo menos 1% de significância, além de apresentar R^2 ajustado de 0,778, indicando uma adequação apropriada do modelo empregado. Com base nos valores mostrados na Tabela 2 as pluviometrias observadas podem ser hierarquizadas da seguinte forma: $MÉDIA_{CHUVOSO} > MÉDIA_{NORMAL} > MÉDIA_{ESCASSEZ}$.

Tabela 2 – Resultado da comparação entre os períodos de chuva definidos para o Maranhão entre 1901 a 2020

Variável	Coeficientes	Estatística T	sign.	R^2 ajustado
Constante	1.282,097	52,226	0,000*	
D1	324,628	10,704	0,000*	0,778
D2	685,413	20,207	0,000*	

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).
*Significante até 1% de significância.

3.2 Resultados para o objetivo "b": Produção per capita de alimentos nos períodos pluviométricos definidos na pesquisa.

A Tabela 3 se apresentam as produções per capita de alimentos no Maranhão de acordo com os três períodos pluviométricos: escassez, normal e chuvoso no lapso de tempo compreendido entre os anos de 1933 a 2020.

A menor produção per capita anual de alimentos (25,98 kg/pessoa) aconteceu em 1941. Um ano de escassez pluviométrica. A maior produção per capita anual (349,54 kg/pessoa) foi registrada em 1982, um ano de normalidade pluviométrica. As médias anuais das produções per capita nos três períodos foram de respectivamente: 134,32 kg/pessoa nos anos de escassez; 169,20 kg/pessoa nos anos de precipitações normais; e 164,44 kg por pessoa nos anos chuvosos. Observa-se também que a maior instabilidade (CV=60,03%) nas produções per capita dos alimentos aconteceu nos anos do periodo de escassez (Tabela 3).

Tabela 3 – Produção per capita de alimentos no Maranhão por período pluviométrico entre

1933-2020

	Minimo		Máximo			
Períodos	**Produção percapita**	**Ano**	**Produção percapita**	**Ano**	**Média**	**CV (%)**
Escassez	25,98	1941	309,16	1979	134,32	60,03
Normalidade	29,10	1940	349,54	1982	169,20	54,77
Abundância	56,56	1937	297,86	1977	164.44	46,44

Fonte: NOAA (2022); IBGE (2019).

Esses resultados confirmam as variações na produção per capita de alimentos no Maranhão ao longo dos períodos pluviométricos analisados. Essas informações são relevantes para compreender as flutuações na disponibilidade de alimentos na região em diferentes condições climáticas e podem auxiliar em estudos e planejamentos relacionados à segurança alimentar e desenvolvimento agrícola.

3.2 Resultados encontrados para o objetivo "c"

Para analisar se as regiões climáticas criadas na pesquisa, com base nesse período mais longo de precipitação (1901 a 2020), para o estado do Maranhão apresentam diferenças em suas respectivas médias de precipitação, foram realizados testes aplicando o modelo de análise de regressão linear que foi apresentado na equação (2). Na Tabela 4 se mostram os resultados encontrados.

Com base nas evidências apresentadas na Tabela 4, constata-se que a se confirma a hipótese da existência de 10 regiões pluviométricas no Maranhão. O mesmo não pode ser afirmado para as temperaturas médias, tendo em vistas que, das dez regiões confirmadas com médias diferentes paras as pluviometrias, apenas nove apresentaram temperaturas médias estatisticamente diferentes.

Tabela 4 - Resultados encontrados para o teste de diferenças das médias de chuvas e temperaturas das regiões criadas na pesquisa no período de 1901 a 2020

	Precipitação Anual (mm)		Temperatura Anual (ºC)		Regiões		
Variáveis	**Est.**	**Sign.**	**Est.**	**Sign.**	**Regiões**	**Chuva (mm)**	**Temp (ºC)**
D1	679,14	0.000	-0,078	<0,001	R1	2.075,00^{A}	27,08^{E}
D2	347,97	<0.001	-0,061	0,012	R2	1.743,83^{C}	27,10^{C}
D3	193,85	<0.001	-0,262	<0,001	R3	1.589,71^{D}	26,90^{I}
D4	392,23	<0.001	-0,160	<0,001	R4	1.788,09^{B}	27,00^{G}
D5	47,90	<0.001	-0,054	0,032	R5	1.443,76^{G}	27,10^{E}
D6	55,53	<0.001	0,021	0,390	R6	1.451,39^{F}	27,18^{B}
D7	-185,43	<0.001	-0,090	<0,001	R7	1.210,43^{I}	27,07^{F}
D8	122,28	<0.001	-0,199	<0,001	R8	1.518,14^{E}	26,96^{H}
D9	-194,55	<0.001	0,091	0,003	R9	1.201,31^{J}	27,20^{A}
Constante	1.395,86	0.000	27,157	0,000	R10	1.395,86^{H}	27,16^{B}

Fonte: NOAA, 2022.

Observações: 1 - O R^2 ajustado para avaliar as diferenças na precipitação entre as regiões foi de 0,391; o R^2 ajustado para avaliar as diferenças na temperatura entre as regiões foi de 0,02; 2 - Os super-índices colocados nas medias estimadas de precipitação e temperatura denotam a seguinte hierarquia: hierarquia: A > B > C > D > E > F > G > H > I > J.

Com base nas evidências apresentadas na Tabela 4, pode-se construir a seguinte hierarquia, em ordem decrescente, das médias de precipitações pluviométricas (CH) das 10 regiões criadas na pesquisa: $CH^{R1} > CH^{R4} > CH^{R2} > CH^{R3} > CH^{R8} > CH^{R6} > CH^{R5} > CH^{R10} > CH^{R7} > CH^{R9}$.

Quanto às médias estimadas de temperaturas (TP) para as regiões, a hierarquia encontrada é a seguinte: $TP^{R9} > TP^{R6} = TP^{R10} > TP^{R5} > TP^{R2} > TP^{R1} > TP^{R7} > TP^{R4} > TP^{R8} > TP^{R3}$.

3.2 Resultados encontrados para o objetivo "d"

O quarto objetivo da pesquisa, que buscou avaliar os níveis de instabilidade de precipitação e temperaturas utilizando os coeficientes de variação, tem seus resultados apresentados na Tabela 5.

A partir das evidências apresentadas na Tabela 5, observa-se que as precipitações das regiões apresentaram níveis de instabilidades médias em cinco regiões:R1, R4, R8, R9 e R10, em que os CV variaram de 16,72% a 19,83%. As outras cinco regiões (R2, R3, R5, R6 e R7) tiveram pluviometrias com instabilidades altas. Nelas, os CV variaram de 21,46% a 26,22%.

Com relação às temperaturas, foi observado que as variações são todas inferiores a 10% (Baixa), o que demonstra maiores níveis de estabilidade e semelhanças entre as médias de temperaturas das regiões climáticas criadas na pesquisa (Tabela 5).

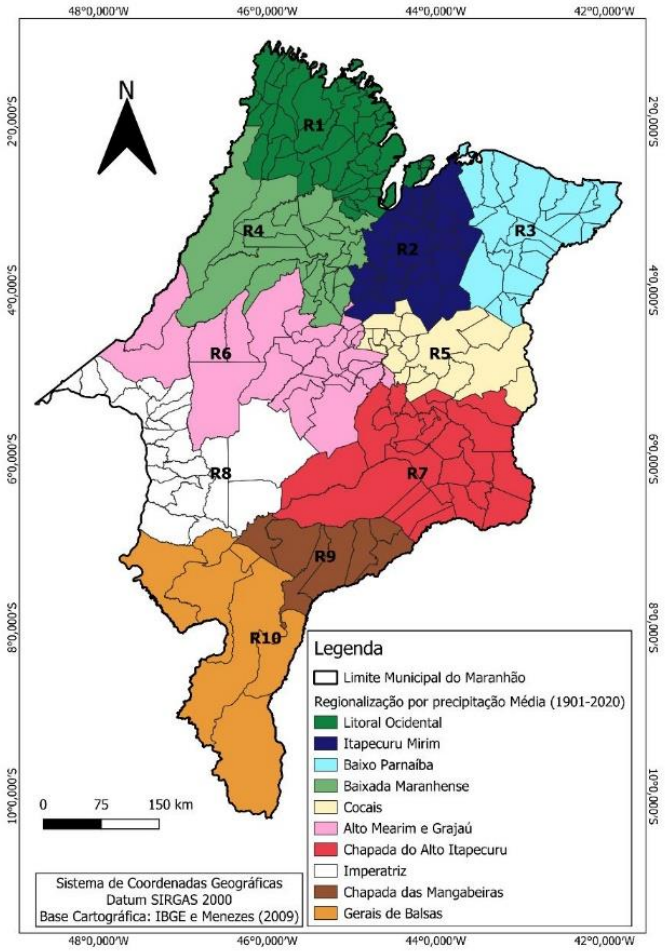
Tabela 5 - Coeficientes de variação (CV) de chuvas e temperaturas estimados para as dez regiões pluviométricas do Maranhão definidas na pesquisa.

Regiões	Precipitações (CV %)	Temperatura (CV %)
R1	19,58	2,44
R2	23,66	2,14
R3	26,22	2,54
R4	18,57	2,18
R5	22,17	2,29
R6	21,46	1,94
R7	23,39	2,28
R8	19,83	2,53
R9	19,81	2,02
R10	16,72	1,94

Fonte: NOAA, 2022.

No Mapa 1 ilustra-se a representação espacial da distribuição de precipitação em cada região ao longo de um período de 120 anos.

Mapa 1 – Regiões Pluviométricas homogêneas pluviométricas no Maranhão



Fonte: Mapa baseado nas informações contidas na Tabela 5

3.3 Resultados encontrados para o objetivo "e".

Para responder a esse objetivo, foi criado o Índice de Produtividade (IPD) utilizando o método de análise fatorial por meio da técnica de decomposição de componentes principais. Os resultados estão apresentados na Tabela 6. A partir das evidências apresentadas nesta tabela, verifica-se que foi possível aplicar a AF para criar o IPD, considerando que a matriz de correlação entre as variáveis não é uma identidade, como indicado pela estatística de Qui-Quadrado que afere o teste de Bartlett. Além disso, todas as comunalidades foram maiores que 0,5, a estatística KMO = 0,711, assim como a variância total explicada pelos três fatores estimados (73,98%), sugerem a robustez estatística envolvida na construção dos quatro fatores ortogonais gerados.

Tabela 6 - Resultados encontrados com análise fatorial (AF) para estimativa do IPD

Testes de Robustez Estatística na Geração de Fatores					
Teste de Bartlet	Qui-Quadrado = 4923,467		Graus de liberdade = 78		Sign. =0,000
Teste do KMO=0,711			Variância explicada =73,98%		
		Cargas fatoriais			
Variáveis	Comunalidades	F1	F2	F3	F4
Área de arroz	0,884	0,026	**0,939**	0,041	-0,006
Produtividade do arroz	0,602	-0,251	0,096	**0,716**	-0,132
Preço do arroz	0,847	**0,884**	0,144	-0,097	-0,190

Área de feijão	0,736	-0,020	**0,857**	0,019	-0,020
Produtividade do feijão	0,759	0,419	-0,182	**0,636**	0,382
Preços do feijão	0,839	**0,838**	0,156	-0,049	-0,332
Área de mandioca	0,663	0,451	**0,556**	-0,256	0,292
Produtividade da mandioca	0,550	0,090	0,124	**0,715**	0,125
Preço da mandioca	0,705	**0,767**	-0,216	0,076	0,255
Area de milho	0,859	0,030	**0,911**	0,151	-0,072
Produtividade do milho	0,692	-0,250	-0,041	**0,722**	-0,326
Preço do milho	0,890	**0,926**	0,064	-0,128	-0,109
Chuva	0,591	-0,288	0,012	-0,063	**0,709**

Fonte: IBGE/PAM (vários anos) e NOAA (2022).

Os resultados dos testes realizados para verificar se as médias dos IPDs são estatisticamente diferentes, confirmaram essa hipótese, como mostrado na Tabela 7 e ilustrado no Mapa 2.

De acordo com as evidências apresentadas na Tabela 7, constata-se que as dez (10) regiões, que diferem do ponto de vista da média de precipitação, são reduzidas a apenas cinco em termos do índice de produtividade (IPD). Também de acordo com esses resultados, as dez regiões podem ser hierarquizadas da seguinte forma, levando em consideração as médias dos IPDs estimados para cada uma delas: R1 > R4 > R6 > R10 > R2 = R3 = R5 = R7 = R8 = R9.

Tabela 7 - Resultados do teste de diferenças de médias do IPD por regiões homogêneas de chuva, médias e coeficientes de variação (CV) do IPD estimado para as regiões.

Variáveis	Estimativa	Sign.	Região	Média IPD	CV(%)
D1	**0,109**	**<0,001**	**R1**	**0,527^{A}**	17,48
D2	0,018	0,390	R2	0,436^{E}	15,14
D3	0,028	0,182	R3	0,446^{E}	14,45
D4	**0,079**	**<0,001**	**R4**	**0,496^{B}**	13,51
D5	-0,001	0,979	R5	0,418^{E}	15,76
D6	**0,071**	**<0,001**	**R6**	**0,489^{C}**	23,56
D7	0,010	0,629	R7	0,428^{E}	19,39
D8	0,026	0,209	R8	0,444^{E}	16,68
D9	-0,042	0,112	R9	0,376^{E}	25,90
Constante	**0,418**	**<0,001**	**R10**	**0,418^{D}**	25,14

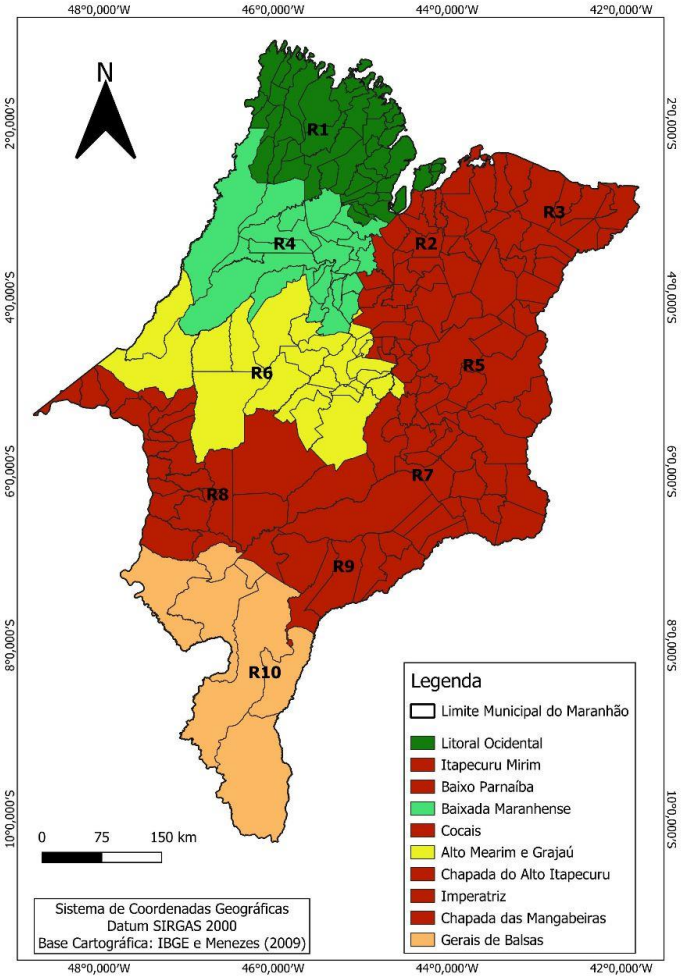
Fonte: IBGE/PAM (vários anos)
Observe que os superíndices colocados nas médias estimadas de precipitação e temperatura denotam a seguinte hierarquia:A > B > C > D > E

Das evidências apresentadas na Tabela 6 e Tabela 7, constata-se que as regiões com as maiores médias de precipitação, R1 (Litoral Ocidental) e R4 (Baixada Maranhense), também apresentaram os maiores IPD. A R6 (Alto Mearim e Grajaú) classifica-se como a sexta melhor em precipitação e possui o terceiro maior IP. Essas três regiões fazem fronteira com o estado do Pará e possuem todas as características, incluindo paisagens, da Amazônia Brasileira. A R10 (Chapada das Mangabeiras), que possui o quarto maior IPD, está localizada na região conhecida como MATOPIBA (Acrônimo que define a fronteira agrícola conjunta envolvendo partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), onde prevalecem cultivos intensivos em capital e alta produtividade, especialmente milho e soja, ao contrário das outras regiões do Maranhão, onde se destacam os agricultores familiares.

Por outro lado, a R9 (Chapada das Mangabeiras), que apresentou o menor IPD, também foi a região que teve a menor média de precipitação, ao longo do período estudado. As regiões R2 (Itapecuru), R3 (Baixo Parnaíba), R5 (Cocais), R7 (Chapada do Alto Itapecuru) estão localizadas no leste do Maranhão, na parte que faz fronteira com o estado do Piauí. Uma parte muito significativa dos municípios localizados nessas regiões possui características semiáridas, como demonstrado na pesquisa de Lemos (2020). Provavelmente por essas razões, apresentam baixos IPD (Tabela 7).

Também fica evidente que a maior instabilidade estimada para o IPD, foi observada na R9 (CV = 25,90%). A pesquisa também mostrou que, em 7 das 10 regiões climáticas definidas, prevaleceram níveis médios de instabilidade, cujos CV variaram de 13,51% na R4 (Baixada Maranhense) a 19,39% na R7 (Chapada do Alto Itapecuru). No Mapa 2 se mostra como os índices de produtividade do IPD estão distribuídos entre as 10 regiões climáticas.

Mapa 2 – Regionalização dos índices de produtividade



Fonte: Mapa baseado nas informações contidas na Tabela 7.

4. Conclusão

A pesquisa conseguiu responder às três questões que a nortearam, bem como atender os objetivos que foram ancorados nessas questões mobilizadoras. Com efeito, o estudo mostrou que as dez regiões pluviométricas que haviam sido construídas em 2009, com base em apenas 20 anos de observações pluviométricas, se confirmaram a partir de uma base de informações cobrindo 120 anos (1901 a 2020). Contudo, as regiões pluviométricas

apresentaram instabilidades classificadas como médias ou altas. Essas dez regiões não foram confirmadas quanto às médias anuais de temperatura. Nesse caso, apenas nove regiões apresentaram temperaturas médias diferentes. As distribuições dessas temperaturas são muito homogêneas ao longo dos 120 anos observados.

A partir dos resultados da pesquisa foi possível dividir o Maranhão em três períodos diferentes de um ponto de vista de pluviometria média, conforme era buscado no primeiro objetivo. Foram demarcados 30 anos de escassez, 57 anos com chuvas no período normal e 33 anos no período chuvoso. Destaca-se que as precipitações ocorridas no estado apesentaram um coeficiente variação de 17,4%, considerado médio.

A pesquisa demonstrou que o índice de produtividade (criado na pesquisa), avaliado pela média ponderada de áreas colhidas, produtividades da terra e preços das principais culturas alimentares cultivadas no estado (arroz, feijão, mandioca e milho), possui médias divergentes em apenas cinco das dez regiões nas quais o estado foi dividido nesta pesquisa.

Observou-se também que as regiões com os maiores índices de produtividade (IPD) estão localizadas na fronteira do Maranhão com a Amazônia, onde a precipitação é mais alta. Por outro lado, os índices de produtividade (IPD) mais baixos estão, em sua maioria, situados no lado leste do estado, onde se encontram os municípios com características semiáridas

References

ALLISON, Paul D. Measures of inequality. **American sociological review**, p. 865-880, 1978.

BECERRA, Jorge Alberto Bustamante; BITENCOURT, Marisa Dantas. **Zoneamento ecológico visando pastejo de comunidades vegetais das montanhas tropicais andinas do Parque Nacional de Manu**, Peru. 1999.

BEZERRA, Filomena Nádia Rodrigues. 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.

DILLON, William R.; GOLDSTEIN, Matthew. **Multivariate analysis: Methods and applications**. New York (NY): Wiley, 1984.

DUQUE, José Guimarães. **Solo e água no polígono das secas**. Mossoró: Fundação Guimarães Duque, 1980.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Policy Impacts on Inequality Simple Inequality Measures**. 2006. Disponível em: http://www.fao.org/docs/up/eas ypol/448/simple_inequality_mesures_080en.pdf.

FÁVERO, Luiz Paulo; BELFIORE, Patrícia. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®**. Elsevier Brasil, 2017.

GARCIA, Carlos Henrique. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. IPEF, 1989. 11 p., 1989.

GOMES, F. P.. Curso de estatística experimental. 13. Ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1985.467p. 1985.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica-5**. Amgh Editora, 2011.

HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E., & TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. Ed. Porto Alegre: Bookman. 2009.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE. 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados /ma.html

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Microrregiões do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro: IBGE. 2022.

IBGE/SIDRA. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro. IBGE. 2019. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agrope cuario-2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Importância do zoneamento agrícola e épocas de plantio de cada município**. 2016. Disponível em: http://agricultura.cptec.inpe.br /monitoramento-agricola/pt.

KING, Gary. How not to lie with statistics: Avoiding common mistakes in quantitative political science. **American Journal of Political Science**, p. 666-687, 1986.

LEMOS, José de Jesus Sousa. **Níveis de degradação no Nordeste brasileiro**. 2001.

LEMOS, José de Jesus Sousa. Pobreza e vulnerabilidades induzidas no Nordeste e no Semiárido brasileiro. **Fortaleza: Universidade Federal do Ceará**, 2015.

LEMOS, José de Jesus Sousa; BEZERRA, Filomena Nádia Rodrigues. Interferência da instabilidade pluviométrica na previsão da produção de grãos no semiárido do Ceará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 15632-15652, 2019.

LEMOS, José de Jesus Sousa. Vulnerabilidades induzidas no semiárido brasileiro. **DRd-Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 245-268, 2020.

MENEZES, Ronaldo Haroldo Nascimento de. Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil. 2009. 188f. **Tese** (Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2009.

MONTEBELLER, C. A., CEDDIA, M. B., CARVALHO, D. F. D., VIEIRA, S. R., & FRANCO, E. M.. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 426-435, 2007.

National Oceanic and Atmospheric Agency (NOAA, EUA). **Global Historical-Monthly Climatology Network (GHCN-M)**. 2022. Disponível em: https://www.globalclimate monitor.org/#.

O'REILLY III, Charles A.; CALDWELL, David F.; BARNETT, William P. Work group demography, social integration, and turnover. **Administrative science quarterly**, p. 21-37, 1989.

PUNT, C.. **Measures of Poverty and Inequality**: A Reference Paper. Provide Technical Paper. 2003. Disponível em: http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/15623/1/tp030004.pdf.

RAMALHO FILHO, Antônio; MOTTA, Paulo Emílio Ferreira Da. **Contexto e objetivos do Zoneamento Agroecológico para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2010.

SILVA, F. B. R. E; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C.; BRITO, L. T.L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B. Da; SILVA, A. B. Da; ARAÚJO FILHO, J. C. De; LEITE, A. P.. **Zoneamento agroecológico do Nordeste, diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina, PE: EMBRAPACPATSA/ Recife, PE: EMBRAPA -CNPS. Coordenadoria Regional Nordeste. 2v. 1993.

Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). **Nova delimitação do Semiárido**. 2021. Disponível em: https://www.in.gov. br/web/dou/-/esolução-condel/sudene-n-150-de-13-de-dezembro-de-2021-370970623. Acesso em: 01 jan 2022.

WIERSEMA, Margarethe F.; BANTEL, Karen A. Top management team turnover as an adaptation mechanism: The role of the environment. **Strategic management journal**, v. 14, n. 7, p. 485-504, 1993.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introductory econometrics: A modern approach**. Cengage learning, 2015.