



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E**  
**MEIO AMBIENTE**



**HELAYNE LUIZA DE SOUSA FLORÊNCIO**

**SECAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: ANÁLISE DE EXTREMOS**  
**PLUVIOMÉTRICOS E VULNERABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DE PICUÍ,**  
**SOUSA E SUMÉ**

**JOÃO PESSOA – PB**

**FEVEREIRO – 2026**

**HELAYNE LUIZA DE SOUSA FLORÊNCIO**

**SECAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: ANÁLISE DE EXTREMOS  
PLUVIOMÉTRICOS E VULNERABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DE PICUÍ,  
SOUSA E SUMÉ**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Desenvolvimento e Meio  
Ambiente da Universidade Federal da  
Paraíba, para obtenção do título de  
Mestre.**

**Orientador: Dr. Hamilcar José Almeida  
Filgueira.**

**JOÃO PESSOA - PB**

**FEVEREIRO – 2026**

## FICHA CATALOGRAFICA

### Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

F632s Florêncio, Helayne Luiza de Sousa.

Secas no semiárido paraibano : análise de extremos pluviométricos e vulnerabilidade nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé / Helayne Luiza de Sousa Florêncio. - João Pessoa, 2026.

182 f. : il.

Orientação: Hamilcar José Almeida Filgueira.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Regime pluviométrico - Paraíba. 2. Vulnerabilidade à seca - Paraíba. 3. Índice de Dias Consecutivos Secos. 4. Índice de Dias Consecutivos Úmidos. 5. Eventos extremos. 6. Mudanças climáticas. I. Filgueira, Hamilcar José Almeida. II. Título.

UFPB/BC

CDU 551.577.3(043)

**HELAYNE LUIZA DE SOUSA FLORÊNCIO**


**SECAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: ANÁLISE DE EXTREMOS  
PLUVIOMÉTRICOS E VULNERABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DE PICUÍ,  
SOUSA E SUMÉ**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.


Trabalho Aprovado.

João Pessoa, PB, 24 de fevereiro de 2026.


**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **HAMILCAR JOSE ALMEIDA FILGUEIRA**  
Data: 18/03/2026 21:17:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Hamilcar José Almeida Filgueira**  
Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente  
 **EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA**  
Data: 17/03/2026 08:46:25-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Eduardo Rodrigues Viana de Lima**  
Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente  
 **CAMILA CUNICO**  
Data: 16/03/2026 13:29:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Camila Cunico**  
Universidade Federal da Paraíba



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio  
Ambiente  
MESTRADO



Ata da 619ª Sessão Pública de Defesa de Dissertação de **Helayne Luiza de Sousa Florêncio** do Curso de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Mestrado, na área de Desenvolvimento e Meio Ambiente. Aos vinte e quatro dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e seis, às 08h00min, reuniram-se no Auditório do PRODEMA, nos termos do art. 82 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós- Graduação “stricto sensu” da UFPB, anexo à Resolução CONSEPE no 79/2013, a Banca Examinadora, composta pelos professores(as) doutores(as): HAMILCAR JOSÉ ALMEIDA FILGUEIRA (UFPB), orientador, EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA (UFPB), examinador interno ao Programa, e CAMILA CUNICO (UFPB), examinadora externa ao Programa. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do presidente da banca, Prof. Dr. HAMILCAR JOSÉ ALMEIDA FILGUEIRA, que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, solicitou a discente que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada “**SECAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: ANÁLISE DE EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS E VULNERABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DE PICUÍ, SOUSA E SUMÉ**”. Concluída a exposição, o Prof. Dr. HAMILCAR JOSÉ ALMEIDA FILGUEIRA, presidente, passou a palavra a Profa. Dra. CAMILA CUNICO para arguir a discente e, em seguida, para o Prof. Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA fazer o mesmo. Após alguns comentários sobre a defesa, o presidente da banca examinadora solicitou a retirada da plateia para que a banca pudesse proceder com a avaliação da discente em sessão secreta. Na sequência, a banca examinadora atribuiu o conceito APROVADO, conforme o art. 83 do anexo à Resolução CONSEPE-UFPB N° 79/2013.

Documento assinado digitalmente



HAMILCAR JOSE ALMEIDA FILGUEIRA  
Data: 25/02/2026 10:24:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. HAMILCAR JOSÉ ALMEIDA FILGUEIRA  
Presidente/Orientador

Documento assinado digitalmente



EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA  
Data: 25/02/2026 17:06:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA  
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente



CAMILA CUNICO  
Data: 25/02/2026 17:47:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. CAMILA CUNICO  
Examinadora Externa

Dedico este trabalho à minha família, pais, avós e àqueles que a vida transformou em família, pelo amor, apoio e incentivo constantes. Dedico também à minha amiga de graduação, Gleice Kelly, que partiu cedo, mas deixou marcas profundas em minha trajetória acadêmica e pessoal.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda a minha trajetória. À Virgem Maria, Mãe de Deus e minha Mãe, por sua constante intercessão e proteção, e ao meu anjo da guarda, por sempre me acompanhar e guiar meus passos.

Aos meus pais Maria de Fátima e José Florêncio, por acreditarem em mim, pelo amor, apoio e sustento em todos os momentos. Aos meus avós e tios, por sempre confiarem no meu potencial e me incentivarem a seguir em frente, especialmente aos meus avós, que já não estão mais aqui, mas permanecem vivos em minha memória e em meu coração, sendo parte essencial desta conquista. Agradeço à Ramon Henrique e aos demais que se fizeram-se família ao longo da minha caminhada acadêmica, oferecendo apoio, incentivo, cuidado e presença nos momentos mais desafiadores e decisivos desta trajetória.

Ao meu orientador e amigo, professor Hamilcar Filgueira, pela orientação, paciência, ensinamentos e por todo o apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Bartolomeu Israel Novaes e Camila Cunico, pelas importantes contribuições e considerações feitas durante a banca de qualificação, fundamentais para o aprimoramento desta pesquisa. Aos membros da banca final, professor Eduardo Viana e professora Camila Cunico, por aceitarem participar e prestigiar este momento tão significativo.

Às prefeituras municipais de Picuí, Sousa e Sumé, por me receberem tão bem e pela disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas durante a realização desta pesquisa. À Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA), pela disponibilização de dados. Ao Ministério do Desenvolvimento Social (MDS), ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e ao Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA), pela disponibilização de informações fundamentais para este trabalho.

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPG) e à CAPES, pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus colegas de turma, pelo companheirismo ao longo dessa caminhada. Em especial, à minha amiga Eduarda Scarano, que me acompanha da graduação até aqui, e à minha amiga Natália Duarte, que o mestrado me presenteou, pela amizade, apoio e momentos compartilhados.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

*... Sou nordeste brasileiro  
Sou cantador violeiro  
Sou alegria ao chover  
Sou doutor sem saber ler  
Sou rico sem ser granfino  
Quanto mais sou nordestino  
Mais tenho orgulho de ser  
Da minha cabeça chata  
Do meu sotaque arrastado  
Do nosso solo rachado  
Dessa gente maltratada  
Quase sempre injustiçada  
Acostumada a sofrer  
Mais mesmo nesse padecer  
Eu sou feliz desde menino  
Quanto mais sou nordestino  
Mais orgulho tenho de ser.*

**Ser nordestino - Bráulio Bessa**

## RESUMO

As mudanças climáticas correspondem a alterações persistentes nos padrões do clima, evidenciadas por variações nas temperaturas, na frequência de eventos extremos e no funcionamento dos sistemas atmosféricos e oceânicos, afetando ecossistemas e atividades humanas em diversas escalas. Nesse contexto, regiões semiáridas tendem a apresentar maior sensibilidade às variações climáticas, especialmente em relação à disponibilidade hídrica e à ocorrência de secas. Diante dessa realidade, o objetivo geral deste trabalho foi analisar o comportamento do regime pluviométrico e a vulnerabilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, pertencentes a região semiárida do estado da Paraíba. A metodologia adotada incluiu a análise, no período de 1994 a 2023, dos índices de Dias Consecutivos Secos (DCS) e de Dias Consecutivos Úmidos (DCU), bem como a análise estatística das séries temporais por meio dos testes de Mann-Kendall, Sen's Slope e Pettitt. Além disso, foi realizado o cálculo da vulnerabilidade por meio de um índice composto, estruturado a partir de indicadores de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa. Os resultados indicam poucos dias consecutivos com precipitação, destacando-se o município de Sousa, com valor máximo de nove DCU nos anos de 2008, 2018 e 2020. Por outro lado, observam-se longos intervalos de estiagem, com destaque para Sumé, que apresentou quase um ano de DCS. Observou-se tendência crescente estatisticamente significativa dos DCS no município de Sumé, evidenciando intensificação das estiagens ao longo do tempo, enquanto Picuí e Sousa não apresentaram tendências definidas. A análise revelou baixa capacidade de recuperação hídrica após períodos secos, especialmente em Picuí e Sumé. A avaliação da vulnerabilidade à seca apontou diferenças entre os municípios, com maior vulnerabilidade em Sumé, associada à intensificação dos períodos secos e a limitações adaptativas, e menor vulnerabilidade em Sousa, influenciada por menor sensibilidade e suporte de infraestrutura hídrica externa. Conclui-se que a vulnerabilidade à seca nesses municípios é fortemente condicionada pela irregularidade temporal das chuvas e pela forma como os territórios estão estruturados para responder aos extremos climáticos, reforçando a necessidade de estratégias adaptativas integradas e territorialmente diferenciadas.

**Palavras-chave:** Eventos extremos; Índice de Dias Consecutivos Secos; Índice de Dias Consecutivos Úmidos; Mudanças climáticas; Séries temporais.

## ABSTRACT

Climate change corresponds to persistent alterations in climate patterns, evidenced by variations in temperatures, in the frequency of extreme events, and in the functioning of atmospheric and oceanic systems, affecting ecosystems and human activities at different scales. In this context, semi-arid regions tend to show greater sensitivity to climate variability, particularly regarding water availability and the occurrence of droughts. Given this scenario, the main objective of this study was to analyze the behavior of the rainfall regime and drought vulnerability in the municipalities of Picuí, Sousa, and Sumé, located in the semi-arid region of the state of Paraíba, Brazil. The adopted methodology included the analysis, for the period from 1994 to 2023, of the Consecutive Dry Days Index (CDD) and the Consecutive Wet Days Index (CWD), as well as the statistical analysis of time series using the Mann-Kendall, Sen's slope, and Pettitt tests. In addition, drought vulnerability was calculated through a composite index structured from indicators of exposure, sensitivity, and adaptive capacity. The results indicate few consecutive days with precipitation, highlighting the municipality of Sousa, with a maximum value of nine CWD in the years 2008, 2018, and 2020. On the other hand, long drought intervals were observed, particularly in Sumé, which recorded nearly one year of CDD. A statistically significant increasing trend in CDD was observed in the municipality of Sumé, indicating an intensification of dry periods over time, while Picuí and Sousa did not show defined trends. The analysis also revealed low water recovery capacity after dry periods, especially in Picuí and Sumé. The drought vulnerability assessment pointed to differences among the municipalities, with higher vulnerability in Sumé, associated with the intensification of dry periods and adaptive limitations, and relatively lower vulnerability in Sousa, influenced by lower sensitivity and support from external water infrastructure. It is concluded that drought vulnerability in these municipalities is strongly conditioned by the temporal irregularity of rainfall and by how the territories are structured to respond to climate extremes, reinforcing the need for integrated and territorially differentiated adaptive strategies.

**Key-words:** Extreme events; Consecutive Dry Days Index; Consecutive Wet Days Index; Climate change; Time series.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conceitualização da vulnerabilidade às mudanças climáticas de acordo com o relatório do IPCC (AR3). .....	31
Figura 2 - Esquema conceitual da vulnerabilidade à seca no semiárido paraibano. ....	34
Figura 3 - Localização das áreas de estudo no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil.....	36
Figura 4 - Carros pipas para abastecimento da zona rural de Picuí (PB). .....	41
Figura 5 - Carro pipa para abastecimento da zona rural de Picuí (PB). .....	41
Figura 6 - Cisterna utilizada para armazenamento de água, como estratégia de convivência com o semiárido, em Picuí (PB). .....	42
Figura 7 - Cactácea típica da Caatinga no município de Picuí (PB). .....	43
Figura 8 - Amostra de rocha ferruginosa, em Picuí (PB). .....	44
Figura 9 - Ambiente rural e atividade pecuária, em Sousa (PB). .....	46
Figura 10 - Estrutura em torrões decorrente da retração hídrica na zona rural de Sousa (PB). .....	47
Figura 11 - Trecho rural do Rio do Peixe, no município de Sousa (PB), em condição de baixa vazão. ....	49
Figura 12 - Trecho rural do Rio do Peixe em condição de baixa vazão, no município de Sousa (PB). .....	49
Figura 13 - Açude de São Gonçalo com nível bem abaixo de sua capacidade. ....	50
Figura 14 - Açude de São Gonçalo no município de Sousa (PB). .....	51
Figura 15 - Descarga de água da Transposição do Rio São Francisco, em Sousa (PB). ..	52
Figura 16 - Paisagem rural com remanescentes de vegetação nativa em Sousa (PB). ...	53
Figura 17 - Ocupação rural e condições ambientais em área semiárida do município de Sumé (PB). .....	55
Figura 18 - Área agrícola em contexto de agricultura de subsistência na zona rural de Sumé (PB). .....	56
Figura 19 - Área rural com cultivo de palma forrageira, em Sumé (PB). .....	56
Figura 20 - Passagem molhada sobre leito fluvial seco, evidenciando escassez hídrica. ..	58
Figura 21 - Passagem molhada sobre leito fluvial seco, evidenciando escassez hídrica. ..	58
Figura 22 - Açude de Sumé (PB) evidenciando redução do volume armazenado. ....	59
Figura 23 - Açude de Sumé (PB) evidenciando redução do volume armazenado. ....	60
Figura 24 - Antiga sede do DNOCS em Sumé (PB). .....	61

Figura 25 - Caminhão-pipa utilizado no abastecimento de comunidades do município de Sumé (PB). .....	61
Figura 26 - Matacões graníticos em paisagem semiárida de Sumé (PB). .....	63
Figura 27 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Picuí (PB), em 2014. ....	137
Figura 28 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Picuí (PB), em 2024. ....	137
Figura 29 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Sousa (PB), em 2014. ....	141
Figura 30 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Sousa (PB), em 2024. ....	141
Figura 31 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Sumé (PB), em 2014. ....	145
Figura 32 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Sumé (PB), em 2024. ....	145

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento da Inclinação de Sen no município de Picuí (PB).....	111
Gráfico 2 - Comportamento da Inclinação de Sen no município de Sousa (PB). ....	111
Gráfico 3 - Comportamento da Inclinação de Sen no município de Sumé (PB).....	112
Gráfico 4 - Teste de Pettitt: ruptura do município de Picuí (PB). ....	113
Gráfico 5 - Teste de Pettitt: ruptura do município de Sousa (PB).....	114
Gráfico 6 - Teste de Pettitt: ruptura do município de Sumé (PB). ....	114
Gráfico 7 - Exposição do município de Picuí (PB). ....	115
Gráfico 8 - Exposição do município de Sousa (PB).....	116
Gráfico 9 - Exposição do município de Sumé (PB). ....	117
Gráfico 10 - Análise comparativa dos componentes da Exposição à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	118
Gráfico 11 - Sensibilidade do município de Picuí (PB). ....	120
Gráfico 12 - Sensibilidade do município de Sousa (PB). ....	120
Gráfico 13 - Sensibilidade do município de Sumé (PB). ....	121
Gráfico 14 - Análise comparativa dos componentes da Sensibilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	122
Gráfico 15 - Capacidade Adaptativa do município de Picuí (PB).....	124
Gráfico 16 - Capacidade Adaptativa do município de Sousa (PB). ....	125
Gráfico 17 - Capacidade Adaptativa do município de Sumé (PB).....	125
Gráfico 18 - Análise comparativa dos componentes da Capacidade Adaptativa à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	126
Gráfico 19 - Vulnerabilidade do município de Picuí (PB). ....	127
Gráfico 20 - Vulnerabilidade do município de Sousa (PB).....	128
Gráfico 21 - Vulnerabilidade do município de Sumé (PB). ....	129
Gráfico 22 - Análise comparativa da Vulnerabilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	130

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Histórico das secas no Brasil e seus principais efeitos. ....	24
Quadro 2 - Síntese das características da área de estudo nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	64
Quadro 3 - Estrutura de indicadores de vulnerabilidade à seca, adaptada de Bhattacharya e Dass (2007). ....	77
Quadro 4 - Classes do Índice de Aridez segundo a UNEP. ....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Números médio e máximo de Dias Consecutivos Secos (DCS) dos municípios analisados. ....	101
Tabela 2 - Distribuição anual do número máximo de Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Picuí (PB). ....	104
Tabela 3 - Distribuição anual do número máximo de Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Sousa (PB). ....	104
Tabela 4 - Distribuição anual do número máximo de Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Sumé (PB). ....	104
Tabela 5 - Características dos principais eventos pluviométricos identificados por Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Picuí (PB). ....	106
Tabela 6 - Características dos principais eventos pluviométricos identificados por Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Sousa (PB). ....	106
Tabela 7 - Características dos principais eventos pluviométricos identificados por Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Sumé (PB). ....	107
Tabela 8 - Eventos de Dias Consecutivos Secos (DCS), Dias Consecutivos Úmidos (DCU) subsequentes e totais pluviométricos em Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	108
Tabela 9 - Valores obtidos no teste de Mann-Kendall para os municípios Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	110
Tabela 10 - Valores obtidos no teste de Sen's Slope para os municípios Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	110
Tabela 11 - Valores obtidos no teste de Pettitt para os municípios Picuí, Sousa e Sumé (PB). ....	113
Tabela 12 - Valores de Exposição do município de Picuí (PB). ....	116
Tabela 13 - Valores de Exposição do município de Sousa (PB). ....	117
Tabela 14 - Valores de Exposição do município de Sumé (PB). ....	118
Tabela 15 - Valores de Sensibilidade do município de Picuí (PB). ....	119
Tabela 16 - Valores de Sensibilidade do município de Sousa (PB). ....	119
Tabela 17 - Valores de Sensibilidade do município de Sumé (PB). ....	119
Tabela 18 - Valores de Capacidade Adaptativa do município de Picuí (PB). ....	123
Tabela 19 - Valores de Capacidade Adaptativa do município de Sousa (PB). ....	123
Tabela 20 - Valores de Capacidade Adaptativa do município de Sumé (PB). ....	123
Tabela 21 - Vulnerabilidade do município de Picuí (PB). ....	127

Tabela 22 - Vulnerabilidade do município de Sousa (PB).....	128
Tabela 23 - Vulnerabilidade do município de Sumé (PB).....	129
Tabela 24 - Indicadores de vulnerabilidade à seca do município de Picuí (PB): valores brutos, normalizados e período de referência. ....	131
Tabela 25 - Indicadores de vulnerabilidade à seca do município de Sousa (PB): valores brutos, normalizados e período de referência. ....	132
Tabela 26 - Indicadores de vulnerabilidade à seca do município de Sumé (PB): valores brutos, normalizados e período de referência. ....	133
Tabela 27 - Atualização dos indicadores de vulnerabilidade à seca em Picuí (PB): comparação entre o estudo de Rosendo (2014) e a presente análise. ....	135
Tabela 28 - Atualização dos indicadores de vulnerabilidade à seca em Sousa (PB): comparação entre o estudo de Rosendo (2014) e a presente análise. ....	139
Tabela 29 - Atualização dos indicadores de vulnerabilidade à seca em Sumé (PB): comparação entre o estudo de Rosendo (2014) e a presente análise. ....	143
Tabela 30 - Comparação do Índice de Vulnerabilidade e dos componentes de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa entre Rosendo (2014) e Florêncio (2026) nos municípios analisados.....	146

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão de Águas  
BASIC – *Building Adaptive Strategies for Climate Change*  
CCI/CLIVAR – Climatic Variability and Predictability  
CDD – *Consecutive Dry Days*  
CWD – *Consecutive Wet Days*  
DCS – Dias Consecutivos Secos  
DCU – Dias Consecutivos Úmidos  
DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas  
ETCCDMI – *Expert Team on Climate Change Detection and Monitoring Indices*  
ETo – Evapotranspiração de referência  
GEE – Gases de Efeito Estufa  
GRADM – Gradiente Meridional Inter-hemisférico da Temperatura da Superfície do Mar  
ENOS – *El Niño*-Oscilação Sul  
IAC – Índice de Anomalia de Chuva  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDE – *Integrated Development Environment*  
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal  
IHGB – Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro  
INSA – Instituto Nacional do Semiárido  
IPEADATA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*  
LMRS-PB – Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba  
LOAS – Lei Orgânica da Assistência Social  
MPH – Microrregiões Pluviometricamente Homogêneas  
NEB – Nordeste do Brasil  
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável  
OMM – Organização Meteorológica Mundial  
PB – Paraíba  
PIB – Produto Interno Bruto  
SAB – Semiárido Brasileiro

Sen – *Sen's slope estimator*

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

SSE – Sistemas Socioecológicos

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.</b>	<b>HIPÓTESES .....</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.</b>	<b>Mudanças climáticas: fundamentos científicos, evolução histórica e implicações socioambientais .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2.</b>	<b>Precipitação e seus impactos hidrológicos e ambientais .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3.</b>	<b>Variabilidade pluviométrica e ocorrência de secas .....</b>	<b>20</b>
<b>4.4.</b>	<b>Vulnerabilidade socioambiental frente às mudanças climáticas.....</b>	<b>25</b>
<i>4.4.1.</i>	<i>Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa .....</i>	<i>29</i>
<b>5.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1.</b>	<b>Caracterização físico-natural e socioeconômica do município de Picuí.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.</b>	<b>Caracterização físico-natural e socioeconômica do município de Sousa.....</b>	<b>45</b>
<b>5.3.</b>	<b>Caracterização físico-natural e socioeconômica do município de Sumé .....</b>	<b>54</b>
<b>6.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>64</b>
<b>6.1.</b>	<b>Índices climáticos de extremos de precipitação .....</b>	<b>64</b>
<i>6.1.1.</i>	<i>Índice de Dias Consecutivos Secos (DCS) .....</i>	<i>65</i>
<i>6.1.2.</i>	<i>Índice de Dias Consecutivos Úmidos (DCU).....</i>	<i>67</i>
<b>6.2.</b>	<b>RStudio .....</b>	<b>69</b>
<b>6.3.</b>	<b>Teste de Mann-Kendall.....</b>	<b>69</b>
<b>6.4.</b>	<b>Teste de Inclinação de Sen (Sen's Slope).....</b>	<b>73</b>
<b>6.5.</b>	<b>Teste de Pettitt .....</b>	<b>74</b>
<b>6.6.</b>	<b>Índice de Vulnerabilidade.....</b>	<b>76</b>
<i>6.6.1.</i>	<i>Indicadores de Exposição.....</i>	<i>80</i>
<i>6.6.2.</i>	<i>Indicadores de Sensibilidade .....</i>	<i>91</i>

6.6.3. <i>Indicadores de Capacidade Adaptativa</i> .....	95
<b>7. RESULTADOS</b> .....	<b>100</b>
<b>7.1. Índice de Dias Consecutivos Secos</b> .....	<b>100</b>
<b>7.2. Índice de Dias Consecutivos Úmidos</b> .....	<b>103</b>
<b>7.3. Teste de Mann-Kendall, teste de Inclinação de Sen e teste de Pettitt</b> .....	<b>109</b>
<b>7.4. Índice de Vulnerabilidade</b> .....	<b>115</b>
7.4.1. <i>Exposição</i> .....	115
7.4.2. <i>Sensibilidade</i> .....	118
7.4.3. <i>Capacidade Adaptativa</i> .....	123
7.4.4. <i>Vulnerabilidade</i> .....	126
7.4.5. <i>Análise temporal: Índice de Vulnerabilidade em 2014 x Índice de Vulnerabilidade em 2024</i> .....	133
<b>8. CONCLUSÃO</b> .....	<b>146</b>
<b>9. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS</b> .....	<b>149</b>
<b>Referências</b> .....	<b>151</b>
<b>ANEXO A</b> .....	<b>171</b>
<b>ANEXO B</b> .....	<b>173</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são notáveis alterações nos padrões climáticos globais ao longo do tempo, envolvendo variações nas médias de temperatura e em eventos climáticos extremos, e em outros fenômenos relacionados ao clima (Tan, 2024). O documento síntese de contribuição dos “Grupos de Trabalhos” para o Sexto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática (IPCC, na sigla em inglês), reforçou a realidade das mudanças climáticas e confirmou que as atividades humanas têm influenciado de forma indiscutível o comportamento e a variabilidade da atmosfera. Além disso, o documento destacou que os efeitos do aquecimento global continuam a se intensificar e que os planos e metas atuais não são suficientes para enfrentar eficazmente as mudanças climáticas (IPCC, 2023).

No Brasil, as mudanças climáticas têm tido um impacto relevante, sobretudo na região semiárida. Essa região é caracterizada por ecossistemas frágeis e suscetíveis, fortemente afetados pelos processos de desertificação e recorrência de secas (Tavares; Arruda; Silva, 2019), os quais intensificam a degradação dos recursos naturais e comprometem a estabilidade socioeconômica local e impõem crescentes desafios ao acesso à água, principalmente em razão da escassez ou irregularidade das chuvas.

A região semiárida do Brasil, denominada Semiárido Brasileiro (SAB), configura-se como a área semiárida mais populosa e biodiversa do mundo, enfrentando desafios ambientais substanciais, entre os quais se destaca a intensificação dos processos de desertificação, agravados pelas mudanças climáticas (Silva *et al.*, 2023a). A expressiva concentração populacional no SAB, amplia a relevância dos efeitos associados às secas, uma vez que os impactos desses eventos não se restringem ao meio físico, mas se refletem diretamente nas condições sociais e econômicas da região.

As projeções climáticas para as áreas semiáridas apontam para um cenário marcado por maior instabilidade nos regimes de precipitação, elevação progressiva das temperaturas e prolongamento dos intervalos sem chuva (Scholes, 2020). Em regiões cuja ocupação histórica está fortemente vinculada a atividades dependentes das condições climáticas, especialmente a agropecuária de base familiar, essas transformações intensificam as pressões sobre os recursos naturais e os sistemas produtivos (Marengo; Bernasconi, 2015).

Além disso, a concentração populacional em áreas com restrições hídricas, associada a desigualdades socioeconômicas e limitações de infraestrutura, intensifica a

exposição e a vulnerabilidade das populações aos eventos de seca (Abuwaer *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023b).

Portanto, a análise da variabilidade da precipitação, considerando tanto o número de dias consecutivos sem chuva quanto a ocorrência de sequências de dias chuvosos, constitui uma abordagem relevante para a identificação de mudanças climáticas em escala local. De forma complementar, a compreensão das vulnerabilidades associadas aos eventos extremos de seca mostra-se fundamental para avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre a sociedade, fornecendo subsídios à formulação e à implementação de políticas públicas e de medidas de adaptação e mitigação voltadas ao enfrentamento dos efeitos decorrentes dessas alterações.

Ainda, este trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial ao ODS 13, ação contra a mudança global do clima; e ao ODS 15, vida terrestre. Ao investigar os impactos climáticos sobre os sistemas naturais e humanos, a pesquisa contribui para o fortalecimento da capacidade de adaptação a desastres relacionados ao clima, assim como para o avanço do conhecimento técnico e institucional voltado à mitigação, adaptação, redução de impactos e implantação de sistemas de alerta precoce. Desta forma, o estudo reforça a importância de estratégias integradas para o enfrentamento das mudanças climáticas, especialmente em contextos marcados por vulnerabilidades ambientais e socioeconômicas.

## **1.1 Justificativa**

A vulnerabilidade à seca constitui o eixo central desta pesquisa por permitir a compreensão integrada dos impactos das secas em municípios do semiárido paraibano, considerando as características ambientais, sociais e econômicas que influenciam a capacidade de resposta dos territórios. Em contextos marcados pela elevada variabilidade pluviométrica e pela dependência de atividades sensíveis à disponibilidade hídrica, os efeitos das secas não se limitam à escassez de chuva, mas se manifestam de forma diferenciada conforme as condições estruturais e adaptativas de cada município.

Nesse sentido, a análise conjunta dos Dias Consecutivos Secos (DCS) e dos Dias Consecutivos Úmidos (DCU) permite caracterizar o regime pluviométrico e identificar a ocorrência e a persistência dos eventos de seca, ao evidenciar tanto a duração dos períodos sem chuva quanto a distribuição temporal das chuvas. A análise de tendência dos DCS possibilita verificar se esses períodos secos apresentam mudanças estatisticamente

significativas ao longo do tempo, indicando se as secas estão se tornando mais frequentes ou mais prolongadas nos municípios estudados.

A integração dessas informações climáticas com a avaliação da vulnerabilidade à seca, permite avaliar de que forma os municípios reagem aos eventos de seca e como suas condições estruturais influenciam a intensificação ou a atenuação dos impactos. Essa abordagem possibilita a compreensão da dinâmica da vulnerabilidade e a identificação de aspectos que demandam maior atenção em estratégias de mitigação e adaptação.

A escolha dos municípios de Picuí, Sousa e Sumé fundamenta-se em critérios climáticos, territoriais e metodológicos, uma vez que estão integralmente inseridos no semiárido paraibano, apresentam recorrência de eventos de seca e possuem distintas características socioeconômicas e produtivas. Ademais, esses municípios localizam-se em diferentes porções do estado, representando áreas extremas do semiárido paraibano, com Picuí situado na Região Geográfica Imediata de Cuité–Nova Floresta (antiga Região do Curimataú), Sousa na Região Geográfica Imediata de Sousa–São Bento (antiga Região do Alto Sertão) e Sumé na Região Geográfica Imediata de Monteiro (antiga Região do Cariri), o que possibilita uma análise comparativa entre contextos territoriais distintos de vulnerabilidade à seca.

Além disso, a disponibilidade, para esses municípios, de séries históricas consistentes de dados pluviométricos e a possibilidade de comparação com estudos anteriores, em especial o de Rosendo (2014), permitem avaliar mudanças na vulnerabilidade à seca ao longo de aproximadamente uma década, fortalecendo a relevância científica do estudo.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho foi analisar o comportamento do regime pluviométrico e a vulnerabilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, pertencentes a região semiárida do estado da Paraíba.

Como objetivos específicos:

- Caracterizar o regime pluviométrico dos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, por meio da contabilização dos Dias Consecutivos Úmidos e dos Dias Consecutivos Secos;
- Analisar a tendência da série de dados de Dias Consecutivos Secos dos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, nos anos de 1994 a 2023;

- Aplicar indicadores de vulnerabilidades à seca, com enfoque ambiental, social e agropecuário nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé;
- Analisar a relação entre os padrões do regime pluviométrico, a tendência dos Dias Consecutivos Secos e os níveis de vulnerabilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé.

### 3. HIPÓTESES

- Houve aumento de concentração de chuvas nos anos com maior número de Dias Consecutivos Secos;
- Há tendência de aumento de Dias Consecutivos Secos, do ano de 1994 à 2023, nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé;
- Os municípios com menor duração de Dias Consecutivos Umidos (DCU) e maior duração de Dias Consecutivos Secos (DCS) apresentam maior vulnerabilidade à seca, evidenciando associação entre agravamento climático, limitações estruturais e socioeconômicas.

### 4. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 4.1. Mudanças climáticas: fundamentos científicos, evolução histórica e implicações socioambientais

O clima da Terra passou por enormes mudanças ao longo do tempo geológico, impulsionadas, principalmente, por processos naturais. Essas mudanças foram influenciadas por uma variedade de fatores, incluindo composição atmosférica, produção solar e atividade tectônica (Zalasiewicz; Williams, 2016). No entanto, a taxa atual de mudança climática é amplamente atribuída às atividades humanas, marcando um afastamento dos processos geológicos naturais que historicamente impulsionaram as variações climáticas (Kumar; Ranjan; Verma, 2021).

A velocidade atual da mudança climática é quase sem precedentes no registro geológico, com exceção de eventos catastróficos como impactos de meteoritos (Lear *et al.*, 2021). Desde a década de 1970, o aumento excepcional dos gases de efeito estufa (GEE) antropogênicos, provenientes de combustíveis fósseis e atividades industriais, se tornou o fator dominante nas mudanças climáticas, levando ao rápido aquecimento da

superfície terrestre, perda de gelo das calotas polares e aumento do nível do mar (Lear *et al.*, 2021; Gornitz, 2025).

O efeito estufa natural é um fenômeno essencial à manutenção da vida na Terra, pois atua na regulação térmica da atmosfera, impedindo a perda excessiva de calor para o espaço e mantendo a temperatura média global em níveis adequados à sustentabilidade dos ecossistemas (Khan, 2017). No entanto, as atividades humanas, especialmente a partir da Revolução Industrial, vêm contribuindo para o acúmulo excessivo de GEE, intensificando esse mecanismo natural e provocando um desequilíbrio no sistema climático planetário (Kanna *et al.*, 2023).

As principais fontes antrópicas de emissão de GEE incluem a combustão de combustíveis fósseis, a mudança no uso da terra, em especial o desmatamento, além de processos industriais e agropecuários. Esses setores são os principais responsáveis pelo aumento das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), gases com elevado potencial de aquecimento global (Schlesinger, 2005; IPCC, 2021).

A elevação dessas concentrações tem provocado um grande aumento na temperatura média global, sendo atribuído à ação humana praticamente todo o aquecimento observado nas últimas cinco décadas (Khan, 2017; IPCC, 2021). Esse aquecimento global é resultado direto do aumento do forçamento radioativo, ou seja, do desequilíbrio entre a energia solar que entra na atmosfera e aquela que é devolvida ao espaço (Schlesinger, 2005).

Como consequência, há a intensificação de eventos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas, chuvas torrenciais e tempestades mais intensas, além de alterações nos padrões de precipitação e na dinâmica dos sistemas atmosféricos regionais e globais (IPCC, 2021; Kanna *et al.*, 2024). Esses impactos configuram uma das faces mais preocupantes da crise climática atual, com implicações severas para os sistemas naturais e socioeconômicos.

As mudanças climáticas vêm resultando em consequências cada vez mais evidentes, especialmente por meio do aumento na frequência e na intensidade de eventos climáticos extremos, como inundações, furacões e secas, que colocam em risco tanto os ecossistemas quanto as sociedades humanas (Kanna *et al.*, 2024).

De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6), elaborado pelo Grupo de Trabalho I, os episódios de calor extremo tornaram-se mais recorrentes e intensos na maioria das regiões continentais, enquanto os eventos de frio extremo

diminuíram em frequência e severidade. Além disso, alterações nos padrões de precipitação têm sido observadas em diversas partes do mundo como resultado do aquecimento global, contribuindo para a intensificação de secas prolongadas e de eventos de chuvas excessivas (IPCC, 2021).

O Brasil apresenta grande vulnerabilidade às mudanças climáticas, entendida como o grau em que um sistema está suscetível aos impactos adversos do clima em função de sua exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (IPCC, 2007). A expectativa é que a ocorrência de eventos compostos, como secas e ondas de calor simultâneas, se intensifique, agravando os impactos sobre a agricultura e os recursos hídricos (Alves *et al.*, 2023). Conseqüentemente, vastas áreas cultiváveis poderão ser comprometidas, e o risco de extinção de diversas espécies tende a crescer em função das irregularidades pluviométricas, da escassez de água e dos prolongados períodos de estiagem e seca.

A região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta crescente vulnerabilidade às mudanças climáticas, especialmente no que se refere aos eventos climáticos extremos. Projeções indicam alterações nos padrões de temperatura e precipitação, com expectativa de aumento da temperatura média do ar em pelo menos 1°C e redução potencial de até 30% nas chuvas anuais até o final deste século (Dantas *et al.*, 2022). Essa combinação de aumento da seca e da frequência de eventos de chuvas intensas representa sérios riscos para a estabilidade socioeconômica e a saúde pública da região.

Além disso, prevê-se a intensificação das ondas de calor e das condições de seca, em decorrência do aumento da temperatura média do ar (Dantas *et al.*, 2022). A precipitação anual tende a diminuir de forma expressiva, com um aumento projetado de até 15% nos dias secos (Medeiros; Oliveira; Torres, 2020). Como consequência, a região poderá enfrentar períodos prolongados de seca, comprometendo especialmente a produtividade agrícola e o abastecimento hídrico (Medeiros; Oliveira; Torres, 2020).

Diante desse cenário, é fundamental reconhecer que os impactos das mudanças climáticas vão além da esfera ambiental, configurando um desafio sistêmico que compromete a segurança alimentar, a saúde pública, a disponibilidade hídrica e a estabilidade socioeconômica, sobretudo em regiões com elevada vulnerabilidade, como o NEB.

Portanto, torna-se essencial o aprofundamento do conhecimento sobre a variabilidade dos elementos climáticos em diferentes escalas, a fim de subsidiar o monitoramento e a detecção de alterações no clima. Essa compreensão é decisiva para orientar ações de mitigação e adaptação, reduzindo a exposição e a sensibilidade das

populações mais vulneráveis e prevenindo o surgimento de novas problemáticas decorrentes das mudanças climáticas.

#### **4.2. Precipitação e seus impactos hidrológicos e ambientais**

A precipitação é definida como todas as formas de água, líquida ou sólida, que caem da atmosfera e atingem a superfície da Terra. Isso inclui várias manifestações, como chuva, neve, granizo, orvalho e neblina. Embora todas essas formas sejam categorizadas como precipitação, a chuva e a neve são os que mais contribuem para o abastecimento de água da Terra (Huffman *et al.*, 2013; Ahmad *et al.*, 2017). A variabilidade da precipitação no tempo e no espaço é influenciada por fatores meteorológicos, levando a implicações hidrológicas, incluindo inundações e secas (Rakhecha; Singh, 2009).

A precipitação representa um dos elementos centrais do balanço hídrico, pois é a principal forma pela qual a água retorna à superfície terrestre, alimentando os corpos d'água superficiais, como rios, lagos e reservatórios, bem como os aquíferos subterrâneos. Esse reabastecimento é fundamental para a manutenção do ciclo hidrológico, garantindo a continuidade dos processos naturais de circulação da água na biosfera (Asif *et al.*, 2024).

Mudanças na precipitação influenciam expressivamente as condições ambientais e a vida dos seres vivos, principalmente por meio de alterações na adequação do habitat, interações entre espécies e dinâmica do ecossistema. Essas mudanças, impulsionadas pelas mudanças climáticas, têm profundas implicações para a biodiversidade e a estabilidade ecológica (Rioja-Paradela *et al.*, 2023).

A variabilidade climática pode induzir a eventos extremos, resultando em variações substanciais nos totais anuais de precipitação entre distintas regiões e anos (Rakhecha; Singh, 2009). As variações intensas na precipitação têm impactos sobre o meio ambiente e os organismos vivos, podendo provocar danos severos. O excesso de chuvas pode resultar em inundações e movimentos de massa, enquanto a sua escassez pode comprometer o abastecimento hídrico e aumentar os processos erosivos (Bachmann, 2019).

A variabilidade espaço-temporal da precipitação constitui um dos principais desafios nas regiões semiáridas. Embora ocorra precipitação ao longo do ano, as elevadas temperaturas, a aridez sazonal e as taxas de evaporação, que frequentemente superam os volumes precipitados, contribuem para a ocorrência de escassez hídrica (Ab'Saber,

1974). Diversas atividades produtivas, como a agricultura, estão diretamente condicionadas ao regime pluvial, tornando-se altamente vulneráveis a eventos extremos de seca ou precipitação intensa.

A diversidade climática do Brasil, que abrange regimes pluviométricos chuvosos, semiáridos, tropicais e subtropicais, está relacionada à atuação e à sazonalidade dos sistemas convectivos de macro e mesoescalas. Observa-se um contraste marcante entre as regiões Norte e Nordeste do país, com a primeira apresentando elevados volumes de precipitação e a segunda caracterizada por escassez ou concentração irregular das chuvas. Já a região Centro-Oeste, embora também apresente sazonalidade, registra índices pluviométricos superiores aos observados no Nordeste (Mendonça; Danni-oliveira, 2007).

No contexto do Nordeste brasileiro, especialmente na região semiárida, o comportamento do regime pluviométrico apresenta elevada variabilidade temporal e espacial, o que contribui para a recorrência de eventos de seca (Siqueira; Nery, 2021; Silva *et al.*, 2023b). O estado da Paraíba, inserido majoritariamente nessa zona semiárida, tem sua dinâmica ambiental, agrícola e social fortemente condicionada pela irregularidade das chuvas, tanto em termos de volume quanto de distribuição sazonal (Francisco *et al.*, 2016a; Francisco *et al.*, 2016b).

Assim, diante da complexidade e da importância da precipitação para o equilíbrio hidrológico e a sustentabilidade ambiental, torna-se evidente que sua variabilidade espaço-temporal impõe desafios, especialmente em regiões vulneráveis como o semiárido nordestino.

A compreensão dos padrões de distribuição pluviométrica, bem como de seus extremos, é essencial para a gestão eficiente dos recursos hídricos, a redução dos impactos ambientais e a resiliência das atividades socioeconômicas, notadamente a agricultura. Compreender os padrões de precipitação é, portanto, fundamental para avaliar os riscos associados à escassez hídrica e propor estratégias de mitigação e adaptação que considerem as especificidades regionais.

Em um cenário de mudanças climáticas e crescente pressão sobre os sistemas naturais, o monitoramento e a análise da precipitação são ferramentas indispensáveis para o planejamento territorial, a formulação de políticas públicas e a implementação de estratégias adaptativas que atendam às particularidades regionais. Assim, o estudo da precipitação deve ser integrado às ações de enfrentamento à escassez hídrica, subsidiando a gestão eficiente dos recursos hídricos, o planejamento agrícola e a formulação de

estratégias de adaptação que contribuam para a promoção da segurança hídrica e climática.

### **4.3. Variabilidade pluviométrica e ocorrência de secas**

A seca é compreendida como um fenômeno associado à ausência prolongada ou à elevada deficiência de precipitação, resultando em escassez hídrica com potencial para afetar de forma severa a agricultura, os ecossistemas e as atividades econômicas. Ou seja, é caracterizada como um período em que a disponibilidade de água se encontra abaixo do nível normalmente esperado, resultando na incapacidade de suprir adequadamente as demandas humanas e ambientais (Wilhite; Pulwarty, 2017). Configura-se pela redução acentuada da umidade disponível no ambiente, decorrente de fatores, como baixos índices pluviométricos, irregularidade na distribuição das chuvas e intensificação das taxas de evaporação (Chirkov, 1979; Gautam; Bana, 2014).

Caracterizada como um fenômeno climático de natureza prolongada, a seca geralmente tem duração de meses ou até anos, no qual os índices de precipitação se mantêm abaixo da média climatológica esperada para a região. Essa condição resulta em uma redução acentuada na disponibilidade hídrica, impactando variáveis, como umidade do solo, níveis de aquíferos e vazões dos rios (Tallaksen; Lanen, 2004). Ainda, citado por Scardua (1979), Thornthwaite (1947) afirmou que a seca é uma condição em que a quantidade de água perdida por evaporação e transpiração excede aquela disponível no solo.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a ocorrência de seca é identificada quando mais de 50% da área de uma determinada região registra precipitação inferior a 60% da média climatológica, por um período superior a dois anos consecutivos (Conti, 2008). Esses eventos estão associados à redução persistente dos volumes de chuva ao longo do tempo, ocasionando sérios impactos sobre as atividades humanas e os sistemas naturais (Mishra; Singh, 2010).

As secas figuram entre os desastres relacionados com fenômenos naturais mais prevalentes e devastadores globalmente (Mokhtari *et al.*, 2023), provocando impactos sociais, econômicos e ambientais de grande magnitude. Caracterizam-se pelo início gradual e pela duração prolongada, fatores que frequentemente culminam em consequências severas e acumulativas ao longo do tempo (Lin; Qian; Schubert, 2022).

A ocorrência de secas pode representar riscos para as atividades agrícolas, comprometendo a produção de alimentos, agravando a insegurança alimentar e potencializando tensões sociais (José *et al.*, 2023). Condições prolongadas de seca podem resultar em graves consequências ecológicas, afetando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Araújo, 2021).

As secas podem ser categorizadas em diferentes tipos, como secas meteorológicas, agrícolas, hidrológicas (Wilhite; Glantz, 1985; Gautam; Bana, 2014; Thakur *et al.*, 2019) e socioeconômica (Hao; Singh, 2015), cada uma refletindo aspectos específicos da escassez de água.

A seca meteorológica é caracterizada pela ausência de precipitação ao longo de um período específico, sendo comumente definida pela ocorrência de, no mínimo, 14 dias consecutivos sem chuvas (Moisa *et al.*, 2012). Esse tipo de seca está associado a déficits pluviométricos persistentes em relação à média climatológica, comprometendo a disponibilidade hídrica. Sua ocorrência resulta, predominantemente, do desequilíbrio entre os volumes de precipitação e as taxas de evaporação (Pires, 2003).

A seca agrícola ocorre quando a umidade do solo torna-se insuficiente para garantir o desenvolvimento adequado das culturas, situação geralmente associada a períodos prolongados de seca (Chirkov, 1979; Tallaksen; Lanen, 2004; Thakur *et al.*, 2019). Esse tipo de seca está diretamente relacionado à redução prolongada da disponibilidade hídrica no solo, decorrente do déficit pluviométrico, o que compromete a produtividade agrícola e pode resultar em perdas substanciais nas colheitas.

A propagação da seca agrícola normalmente ocorre dentro de 1 a 6 meses, dependendo das variações sazonais e das condições climáticas regionais (Cheng *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023). Ademais, a seca agrícola pode ser entendida como uma consequência da seca meteorológica, uma vez que as condições climáticas desfavoráveis favorecem o aumento da evaporação da água no solo, agravando o déficit hídrico.

A seca hidrológica é determinada pela propagação da seca meteorológica a partir do ciclo hidrológico terrestre, sendo influenciada pelas propriedades deste. Relaciona-se ao esgotamento dos recursos hídricos, afetando rios, lagos e níveis de água subterrânea devido à redução da precipitação (Gautam; Bana, 2014). Esse tipo de seca exige um período mais prolongado para que as deficiências na precipitação se manifestem nos diversos componentes do sistema hidrológico.

Embora as condições climáticas constituam o principal fator responsável pela ocorrência da seca hidrológica, esse fenômeno também pode ser influenciado por diversas

intervenções antrópicas. Entre elas, destacam-se as mudanças no uso e na ocupação do solo, o desmatamento, a adoção de práticas agrícolas inadequadas, a degradação do solo e a construção de barragens, que podem alterar a dinâmica natural dos recursos hídricos (Pires, 2003).

A seca hidrológica está associada à diminuição dos níveis de água em corpos hídricos superficiais (como rios, lagos e reservatórios) e subterrâneos (aquíferos), resultante de um período prolongado de precipitação abaixo da média. Seus efeitos tendem a se manifestar de forma mais tardia em relação à seca meteorológica e agrícola, pois dependem do escoamento acumulado. A frequência e a severidade da seca hidrológica são, frequentemente, determinadas a partir dos efeitos que esse fenômeno provoca nas bacias hidrográficas (Wilhite; Glantz, 1985).

A seca socioeconômica configura-se quando a escassez de água resulta na indisponibilidade de bens e serviços essenciais, como o abastecimento de água potável, a produção de alimentos e a geração de energia elétrica. Essa condição decorre, em grande parte, da insuficiência hídrica para atender à demanda da sociedade, sendo frequentemente precedida ou agravada por secas meteorológicas, agrícolas e hidrológicas (Wilhite; Glantz, 1985).

A seca socioeconômica está associada à inadequação do volume de água disponível, provocada por fatores como a má distribuição das chuvas, o crescimento do consumo ou a gestão ineficiente dos recursos hídricos (Zhou *et al.*, 2021). Trata-se, portanto, de uma manifestação da vulnerabilidade social e econômica frente à variabilidade climática e à pressão sobre os sistemas de abastecimento.

A seca socioeconômica representa a convergência dos efeitos das três principais tipologias de seca: meteorológica, agrícola e hidrológica, o que reflete diretamente a relação entre a oferta e a demanda de recursos estratégicos. Como grande parte dos bens econômicos e serviços básicos depende do equilíbrio hídrico e das condições climáticas, perturbações nesse sistema geram impactos em cadeia que comprometem a estabilidade produtiva e social. A ocorrência de períodos de seca em regiões que já apresentam elevada pressão sobre os recursos hídricos pode resultar em sérias consequências econômicas (Pires, 2003).

Os impactos relacionados pelas secas podem ser classificados, de forma geral, como diretos e indiretos, sendo possível ainda agrupá-los nas esferas econômica, social e ambiental, a depender da natureza dos efeitos observados. Os impactos diretos referem-se àqueles de ocorrência imediata e de fácil identificação, manifestando-se,

principalmente, pela escassez de água para o abastecimento urbano, industrial e rural; pelas perdas na produção agrícola e na geração de energia hidrelétrica; pelas restrições às atividades de transporte e navegação fluvial; e pelas limitações às práticas recreativas associadas aos corpos hídricos. Além disso, a diminuição da disponibilidade hídrica compromete enormemente a integridade dos ecossistemas naturais, afetando a fauna e a flora locais (Batista Júnior, 2012).

Por outro lado, os impactos indiretos tendem a ser mais complexos, com desdobramentos que afetam a estrutura socioeconômica de forma mais ampla e prolongada. Entre esses efeitos destacam-se o êxodo populacional decorrente da perda de meios de subsistência, a degradação da qualidade da água pela concentração de poluentes em ambientes aquáticos, o surgimento de problemas fitossanitários nas lavouras, além do aumento da frequência e da intensidade de incêndios florestais durante períodos prolongados de estiagem.

Os impactos da seca são amplos e podem ser classificados em três dimensões principais: econômica, social e ambiental. No campo econômico, a escassez hídrica compromete setores como agricultura, pecuária, pesca, geração de energia e turismo, além de gerar desemprego, perda de receitas públicas e aumento de custos operacionais. No âmbito social, a seca provoca insegurança alimentar, escassez de água potável, salinização de solos e águas, perda de biodiversidade aquática e aumento da poluição atmosférica por particulados. No aspecto ambiental, destacam-se o racionamento de água, a degradação da qualidade dos recursos hídricos, o aumento de incêndios florestais, o abandono de atividades e a migração forçada. Esses efeitos estão interligados e exigem ações integradas para mitigação e adaptação (Rossi *et al.*, 2007).

As secas constituem um dos fenômenos ambientais mais antigos e recorrentes da história brasileira, especialmente no semiárido nordestino, onde a irregularidade pluviométrica e as altas temperaturas favorecem a ocorrência de longos períodos de estiagem. Desde o período colonial, registros de secas severas impactaram profundamente as dinâmicas sociais, econômicas e demográficas da região, deixando marcas na ocupação do território e na formação de políticas públicas.

A trajetória histórica das secas no Brasil, particularmente no semiárido nordestino, pode ser analisada com base em cinco grandes fases de enfrentamento, as quais refletem tanto os modos de convivência com o fenômeno quanto a evolução das políticas públicas e das percepções sociais e institucionais a seu respeito. Essas fases compreendem: o defrontamento com as secas (1583–1848), caracterizado por ações pontuais e reativas; a

busca pelo conhecimento (1849–1877), marcada pelo início dos estudos sistemáticos sobre o fenômeno; a fase da "hidráulica da solução" (1877–1958), voltada à construção de obras de infraestrutura hídrica como solução técnica; o período de desenvolvimento regional (1959–1991), em que as secas passaram a ser abordadas no contexto de políticas de desenvolvimento socioeconômico; e, por fim, a fase de gerenciamento das águas e promoção do desenvolvimento sustentável (1992 em diante), que incorpora uma abordagem integrada e adaptativa frente à variabilidade climática (Campos, 2014) (Quadro 1).

Quadro 1 - Histórico das secas no Brasil e seus principais efeitos.

<b>Histórico das Secas no Brasil (século XVI a XXI)</b>	
<b>Período Colonial (1500–1822)</b>	
<b>Ano/Período</b>	<b>Evento/Consequência</b>
1583	Primeiro registro de seca no Brasil, feito pelo padre jesuíta Fernão Cardim na Bahia e Pernambuco. Relatou a migração forçada de 4 a 5 mil indígenas famintos do sertão para o litoral.
1603-1605	Expedição de Pero Coelho ao Ceará foi interrompida pela seca e fome. Considerada a primeira epopeia sertaneja sobre as secas nordestinas.
1606, 1614, 1645, 1652, 1692	Secas importantes segundo cronistas e relatórios da época. A de 1692 foi especialmente grave, com destruição de fazendas e formação de confederações indígenas revoltadas.
1721-1725	Primeira seca rigorosa documentada em cartas régias e relatórios administrativos. Mortandade de gado, fome e migrações para serras e áreas úmidas.
1723-1729	Longo período de seca severa, afetando engenhos e a produção agrícola. A Câmara da Paraíba pediu socorro ao Rei de Portugal, relatando fome, morte de escravizados e abandono de terras.
1730, 1736-1737, 1744-1747, 1748-1751	Secas de menor abrangência, mas com impactos localizados no Ceará, Pernambuco e Paraíba.
1754, 1760, 1766	Secas parciais no Ceará e Rio Grande do Norte.
1771-1772	Seca na Paraíba.
1777-1778	Conhecida como seca dos três setes, devastou o Ceará, dizimando aproximadamente 7/8 do rebanho bovino e provocando fome generalizada.
1791-1793	Última grande seca do século XVIII, atingindo todo o Nordeste.
1845	Última grande seca do período colonial antes da célebre seca de 1877. Ocorreu após 32 anos de bons invernos, o que intensificou os impactos.
<b>Período Imperial (1822–1889)</b>	
1849-1877	Secas recorrentes motivaram debates no Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro (IHGB) sobre suas causas e soluções possíveis.
1877-1879	A Grande Seca — maior calamidade ambiental da história brasileira. Causou a morte de cerca de 500 mil pessoas no Ceará, migração forçada, fome, epidemias e dizimou rebanhos. Deflagrou a construção de açudes e o reconhecimento oficial das secas como problema nacional.
<b>República Velha e Primeira Metade do Século XX (1889–1950)</b>	
1909	Criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), o primeiro órgão oficial permanente para combater os efeitos das secas no Nordeste.
1932	Seca severa, com forte mobilização de recursos públicos, criação de frentes de trabalho e ações emergenciais para mitigar os efeitos.

Meados do Século XX em diante	
1958	Nova seca muito intensa. Mesmo com açudes, estradas e infraestrutura, foi necessário socorrer cerca de 500 mil pessoas com medidas emergenciais.
2010	Intensa seca agrícola, mas com impactos sociais muito menores graças a políticas de infraestrutura hídrica (cisternas, transposição do São Francisco, açudes) e programas sociais (como o Bolsa Família).

Fonte: Campos (2014) e Alves (s.d.) – Adaptado pela autora, 2026.

Assim, o histórico das secas no Brasil evidencia uma trajetória que vai desde a reação dispersa e imediatista nos séculos XVII e XVIII, passando pela institucionalização gradual das políticas de “combate” no século XIX, pela hidráulica da solução no século XX e pela busca de um modelo de convivência sustentável no século XXI. Cada fase revela não apenas a frequência e a gravidade do fenômeno, mas também o amadurecimento das respostas sociais, técnicas e políticas diante de um dos mais persistentes desafios ambientais e sociais do território brasileiro.

Diante desse contexto, compreender a dinâmica da precipitação torna-se fundamental para a análise das secas em regiões semiáridas, marcadas pela elevada irregularidade das chuvas e pela maior suscetibilidade à escassez hídrica. Assim, a discussão apresentada neste tópico fornece base teórica para a investigação dos períodos de dias consecutivos secos e para a análise da vulnerabilidade à seca.

Nesse sentido, diante do agravamento da variabilidade climática e da crescente pressão sobre os recursos naturais, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre o fenômeno e fortalecer políticas públicas adaptativas capazes de promover resiliência hídrica, segurança alimentar e maior equidade social nas regiões mais vulneráveis.

#### **4.4. Vulnerabilidade socioambiental frente às mudanças climáticas**

A ocorrência de eventos adversos, como secas, inundações ou movimentos de massa, não implica necessariamente em impactos severos. A magnitude dos danos está condicionada a uma combinação entre a intensidade e a frequência desses fenômenos, somada às vulnerabilidades dos sistemas expostos (Cardona *et al.*, 2012).

De modo geral, desastres de maior intensidade tendem a provocar prejuízos mais expressivos, embora essa relação nem sempre seja linear, pois à medida que a intensidade aumenta, os danos podem crescer de forma desproporcional. Além disso, algumas pesquisas indicam que, em certos tipos específicos de desastres, a frequência de

ocorrência pode exercer uma influência ainda mais elevada sobre os impactos do que a própria intensidade do evento (Yeon; Jeong, 2018).

A distinção entre ameaça e risco é crucial para a compreensão de perigos potenciais e seus impactos. A ameaça representa o potencial de ocorrência de um evento perigoso com capacidade de causar prejuízos, enquanto o risco refere-se à probabilidade de que esse evento produza efeitos negativos em contextos vulneráveis (Strachan-Morris, 2012). Os conceitos de ameaça e risco estão inter-relacionados e a compreensão de um requer a consideração do outro. Uma abordagem sistemática para a gestão de riscos integra a identificação de ameaças, a avaliação de riscos e a implementação de medidas preventivas (Azarenko *et al.*, 2023).

O risco é diretamente influenciado pelo grau de vulnerabilidade dos indivíduos, das comunidades e dos territórios (Coppola, 2011). Mesmo diante de uma mesma ameaça, os impactos podem variar enormemente conforme a estrutura socioeconômica, a infraestrutura disponível, os meios de subsistência e a capacidade de resposta das populações afetadas. Assim, a vulnerabilidade atua como fator determinante para a ampliação ou mitigação dos riscos, revelando desigualdades históricas e estruturais que tornam certos grupos mais suscetíveis aos efeitos adversos. Esses grupos enfrentam barreiras sistêmicas que exacerbam sua exposição a riscos (Teixeira, 2022).

A vulnerabilidade é essencialmente um conceito de natureza social, uma vez que está relacionada à capacidade individual de enfrentar ameaças (Reghezza, 2005). Embora os riscos possam assumir diversas formas, eles impactam de forma mais acentuada as populações em situação de vulnerabilidade devido à limitada capacidade de responder às ameaças de eventos ambientais adversos (Becker, 2000; Oliveira, 2018).

A vulnerabilidade física refere-se à suscetibilidade de danos materiais ou estruturais frente à ocorrência de eventos adversos, sendo comumente analisada a partir de dois enfoques conceituais. No primeiro, a vulnerabilidade é considerada como um componente do risco, definido como uma função da interação entre a ameaça e a vulnerabilidade dos elementos expostos ( $\text{risco} = \text{ameaça} \times \text{vulnerabilidade}$ ) (Cutter, 1996; Dewan, 2013; Filgueira, 2013). No segundo, ela é concebida como resultado direto da exposição, sendo o risco representado pela soma das características da ameaça com as fragilidades presentes no território ( $\text{risco} = \text{ameaça} + \text{vulnerabilidade}$ ). Essas abordagens contemplam a localização, o tipo de infraestrutura, a densidade populacional e a capacidade técnica de prevenção como dimensões determinantes (Mattedi *et al.*, 2024).

A vulnerabilidade ambiental refere-se à suscetibilidade de sistemas naturais diante de pressões externas, expressando-se na limitação desses sistemas em absorver ou reagir eficientemente aos impactos provocados por essas pressões. Essa condição pode resultar de atributos intrínsecos do meio físico, como fragilidades ecológicas naturais, da intensificação de impactos gerados por atividades antrópicas, ou ainda da limitada resiliência ecológica, entendida como a capacidade do sistema ambiental de recuperar sua funcionalidade e estrutura originais após a ocorrência de perturbações ou eventos críticos (Aquino; Paletta; Almeida, 2017).

Sob uma perspectiva sociológica, a vulnerabilidade é compreendida como uma condição relacional, resultante da interação entre dois conjuntos de fatores, sendo eles: as características estruturais dos territórios, nos quais os indivíduos estão inseridos; e as estratégias e capacidades sociais mobilizadas para lidar com essas condições. Nessa lógica, a vulnerabilidade é frequentemente concebida como uma função que emerge da articulação entre a exposição aos riscos e a propensão aos impactos (Cutter, 2011; Mattedi *et al.*, 2024).

Assim, a vulnerabilidade social diz respeito à susceptibilidade dos sistemas sociais diante de eventos extremos, envolvendo aspectos como desigualdade socioeconômica, carência de políticas públicas, limitações institucionais e baixa capacidade organizativa das comunidades.

Essa dimensão é articulada, fundamentalmente, em torno de dois conceitos centrais: a capacidade adaptativa, que é entendida como a habilidade dos grupos sociais em se ajustar, modificar comportamentos e mitigar os efeitos negativos dos impactos; e a resiliência, compreendida não apenas como a aptidão de resistir, absorver e recuperar-se de eventos adversos, mas também como a capacidade de aprender com esses eventos, promover mudanças estruturais e reduzir as condições preexistentes de vulnerabilidade, fortalecendo os sistemas sociais frente a ocorrências futuras (Reghezza, 2005, León, 2006; Mattedi *et al.*, 2024).

Observa-se, portanto, que a intensidade dos impactos decorrentes de um desastre não pode ser compreendida de forma isolada, mas como uma propriedade relacional intrinsecamente vinculada às condições sociais, econômicas e institucionais preexistentes (Mattedi *et al.*, 2024). Em outras palavras, os efeitos de um evento extremo são amplificados ou atenuados conforme o grau de desigualdade, a vulnerabilidade das infraestruturas, a ausência de políticas públicas eficazes e a capacidade de organização social nos territórios afetados.

A aplicação do conceito de vulnerabilidade socioambiental busca avaliar o nível de vulnerabilidade das pessoas e das áreas em que vivem, examinando as interações estabelecidas entre elas. O estudo da vulnerabilidade socioambiental constitui uma ferramenta valiosa para compreender como a interação entre processos sociais historicamente construídos e as condições ambientais dos territórios molda a exposição diferenciada de grupos sociais aos riscos. Diferentemente da vulnerabilidade em sentido amplo, a vulnerabilidade socioambiental evidencia que os impactos não decorrem apenas da ocorrência de eventos adversos, mas da combinação entre desigualdades sociais, formas de uso e ocupação do território e fragilidades ambientais, afetando grupos sociais de maneira desigual e, frequentemente, tornando-os invisíveis nos processos decisórios e nas políticas públicas (Brito, 2021).

O IPCC, Grupo de Trabalho II, em 2001, definiu a vulnerabilidade como uma condição que expressa o grau de suscetibilidade dos sistemas ou sua incapacidade de responder adequadamente aos impactos adversos das mudanças climáticas, incluindo a variabilidade climática e os eventos extremos. Segundo o relatório, essa condição é determinada pela combinação entre a natureza, a magnitude e a velocidade das mudanças climáticas, o nível de exposição do sistema a essas alterações, sua sensibilidade e sua capacidade adaptativa (IPCC, 2001).

Posteriormente, em 2007, no âmbito do Grupo de Trabalho II do IPCC (AR4), esse entendimento foi refinado com a incorporação explícita dos componentes analíticos da vulnerabilidade, que passou a ser compreendida como a condição que expressa o grau de suscetibilidade de sistemas, populações ou territórios aos impactos negativos das mudanças climáticas, incluindo sua variabilidade e eventos extremos. Segundo o relatório, essa condição decorre da interação entre a exposição às alterações climáticas, a sensibilidade dos sistemas e sua capacidade adaptativa (IPCC, 2007).

No Sexto Relatório do IPCC, Grupo de Trabalho II, de 2022, foi abordado sobre a vulnerabilidade às mudanças climáticas, destacando que diferentes setores, como agricultura, recursos hídricos, saúde humana, ecossistemas e infraestrutura, eram sensíveis aos impactos das mudanças climáticas. Além disso, o documento ressalta que fatores socioeconômicos como desigualdade, capacidade institucional e padrões de desenvolvimento influenciam significativamente a distribuição e a severidade dos impactos em diferentes setores e regiões (IPCC, 2022).

Logo, a vulnerabilidade às mudanças climáticas diz respeito às condições que fazem com que determinados sistemas sociais e ambientais sejam mais afetados pelos

impactos do clima, como a variabilidade climática e os eventos extremos. Esses impactos variam conforme o contexto em que ocorrem, sendo influenciados por fatores sociais, econômicos e institucionais que moldam a capacidade de resposta dos territórios e das populações. Nesse sentido, compreender a vulnerabilidade às mudanças climática não apenas descreve os impactos, mas também oferece subsídios para repensar estratégias de adaptação e desenvolvimento sustentável (Ilame, 2025).

Em vista disso, as avaliações de vulnerabilidade socioambiental têm adotado, com frequência, a construção de índices sintéticos que agregam dimensões como exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, de modo a proporcionar uma compreensão integrada e abrangente dos níveis de risco a que determinados sistemas estão sujeitos (Roshani *et al.*, 2024; Roy *et al.*, 2024).

Portanto, ao analisar a vulnerabilidade, é necessário considerar múltiplas dimensões (físicas, sociais, econômicas e ambientais) que, interligadas, influenciam a capacidade de resistência, adaptação e recuperação frente às ameaças. Em contextos marcados por recorrência de eventos extremos, como os territórios do semiárido brasileiro, essa abordagem é essencial para orientar estratégias de mitigação e adaptação mais eficazes e justas.

#### *4.4.1. Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa*

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC, Grupo de Trabalho II, de 2007, a exposição refere-se ao grau e à duração em que uma entidade ou indivíduo está sujeito a um evento climático adverso. A sensibilidade refere-se ao grau em que um sistema pode ser afetado (de forma adversa ou benéfica), ou seja, diz respeito ao potencial de impacto provocado por esse evento, o qual pode comprometer o bem-estar social, especialmente em contextos nos quais há baixa capacidade de absorção dos efeitos decorrentes da ocorrência. E a capacidade adaptativa diz respeito à habilidade de um sistema para se ajustar ao evento (incluindo sua variabilidade) com o objetivo de moderar danos potenciais, explorar oportunidades ou lidar com as consequências desses impactos (IPCC, 2007).

De forma complementar à definição do IPCC, a exposição pode ser compreendida como o grau em que um sistema se encontra sujeito a variações climáticas. Trata-se de um componente essencial na avaliação da vulnerabilidade, uma vez que determina a

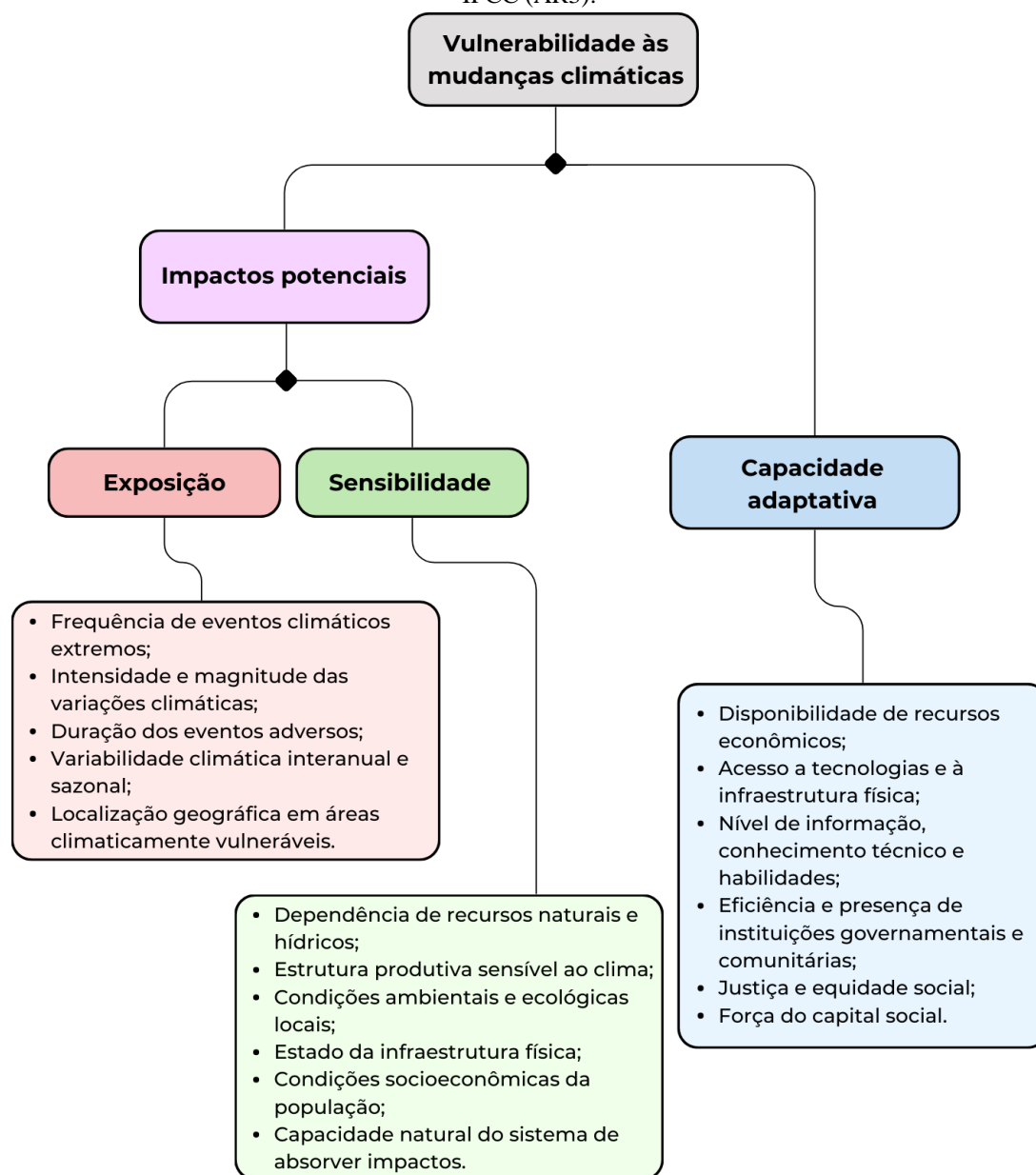
intensidade com que os impactos das mudanças climáticas podem afetar um determinado território ou setor (Schneiderbauer *et al.*, 2020; Garba *et al.*, 2022).

A sensibilidade diz respeito à magnitude da resposta de um sistema frente aos estímulos climáticos, sendo condicionada por características naturais e socioeconômicas. Elementos como a produtividade agrícola, a dependência de atividades vulneráveis ao clima e o nível de desenvolvimento local são fatores que contribuem para aumentar ou reduzir essa sensibilidade (Yu *et al.*, 2021; Garba *et al.*, 2022).

A capacidade adaptativa, por sua vez, refere-se à aptidão de um sistema em ajustar-se às alterações climáticas e reduzir seus impactos adversos. Essa capacidade pode ser expressa por meio da adoção de estratégias de adaptação, como a implementação de sistemas de irrigação ou o cultivo de variedades agrícolas mais resistentes à seca (Garba *et al.*, 2022).

O diagrama esquemático da Figura 1 mostra a vulnerabilidade como resultante da interação da exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa:

Figura 1 - Conceitualização da vulnerabilidade às mudanças climáticas de acordo com o relatório do IPCC (AR3).



Fonte: Bhattacharya e Dass (2007) – Adaptado pela autora, 2026.

Esses três componentes, exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, não permanecem restritos ao campo conceitual, mas têm sido amplamente empregados em estudos empíricos voltados à avaliação da vulnerabilidade frente às mudanças climáticas. Um exemplo relevante é o Projeto BASIC (*Building Adaptive Strategies for Climate Change*), conduzido com a participação dos pesquisadores Bhattacharya e Dass, cujo objetivo foi o desenvolvimento de estratégias de adaptação aos impactos das mudanças climáticas em países em desenvolvimento. O projeto teve como foco a formulação de uma metodologia para avaliar a vulnerabilidade de populações expostas a eventos

extremos, como secas, inundações e ciclones, a partir de indicadores sociais, econômicos, ambientais e institucionais.

Os pesquisadores Bhattacharya e Dass, atuaram na sistematização dos resultados do projeto no contexto indiano. Ambos colaboraram na análise da vulnerabilidade socioambiental associada a eventos extremos, com foco em aspectos metodológicos e na aplicação de indicadores em escala estadual. Considerando a seca como estímulo climático, os autores estruturam a análise da vulnerabilidade considerando as três dimensões principais, conforme já apresentado no Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC, Grupo de Trabalho II, de 2007, sendo elas: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, tendo como base o sistema agrícola, dado seu papel central na economia e no sustento das populações avaliadas.

Dessa forma, ao abordar a vulnerabilidade sob a ótica do setor agrícola, os autores detalham o comportamento de cada um dos índices que a compõem. A exposição é associada a indicadores como a frequência e intensidade das secas, a densidade da população rural e a dependência da agricultura de sequeiro. A sensibilidade é expressa por variáveis de natureza socioeconômica e tecnológica, a exemplo da renda média, da distribuição de renda, do nível de mecanização e da predominância de culturas comerciais. E a capacidade adaptativa é analisada a partir de fatores como o grau de escolaridade da população, os investimentos públicos em educação, o acesso a crédito, a diversificação das fontes de renda no meio rural e a presença de mecanismos institucionais voltados à mitigação dos impactos da seca (Bhattacharya; Dass, 2007).

Então, utilizando como exemplo a vulnerabilidade às secas, torna-se possível analisar a interação entre os componentes exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Nesse contexto, o estressor externo consiste na ocorrência de secas prolongadas, caracterizadas por períodos de precipitação pluviométrica expressivamente abaixo da média histórica, associados à redução das reservas hídricas superficiais e subterrâneas.

A sensibilidade das comunidades a esse fenômeno é condicionada por atributos intrínsecos da população e do território, sobre os quais os indivíduos e grupos sociais detêm controle limitado ou inexistente. Entre esses fatores, destacam-se a dependência predominante da agricultura de sequeiro para subsistência e obtenção de renda, a escassa disponibilidade hídrica natural, as condições climáticas adversas (especialmente em regiões semiáridas, marcadas por elevadas taxas de evaporação), bem como aspectos socioeconômicos e estruturais que acentuam a exposição aos efeitos adversos da seca.

Por outro lado, a capacidade adaptativa refere-se ao conjunto de recursos, estratégias e condições institucionais e sociais que permitem às comunidades enfrentar, responder e ajustar-se aos impactos das secas. Diferentemente da sensibilidade, esse componente está associado a fatores sobre os quais indivíduos, coletividades e o poder público podem exercer influência, inclusive no curto e médio prazo.

Exemplos de elementos que compõem a capacidade adaptativa incluem a existência de sistemas de irrigação e açudes comunitários, o acesso a reservatórios domiciliares (cisternas) e a infraestrutura de abastecimento hídrico, a diversificação das fontes de renda, o acesso a informações climáticas e de gestão dos recursos hídricos, a disponibilidade de programas de seguro agrícola e crédito emergencial, bem como a organização comunitária voltada à gestão participativa da água e à definição de usos prioritários em períodos críticos. Portanto, quanto maior a diversidade e a acessibilidade dessas opções, mais elevada tende a ser a capacidade adaptativa da comunidade, resultando, por consequência, em menor vulnerabilidade frente às secas.

A vulnerabilidade à seca representa o grau em que determinadas regiões são afetadas pelos impactos adversos desse fenômeno. No estado da Paraíba, trata-se de um processo multidimensional, resultante da interação entre a variabilidade climática, os condicionantes socioeconômicos e as fragilidades ambientais. A irregularidade dos regimes pluviométricos, caracterizada por intensas flutuações interanuais, acentua a frequência e a severidade dos eventos de seca, comprometendo a resiliência dos sistemas naturais e humanos (Filgueira; Barbosa, 2013; Lucena; Cunico; Moura, 2023; Olímpio *et al.*, 2024).

Assim, a avaliação integrada dos componentes exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa constitui elemento essencial para a compreensão da vulnerabilidade à seca no semiárido paraibano. A elevada frequência de eventos de estiagem, aliada à forte dependência de setores sensíveis ao clima e à limitada disponibilidade de recursos adaptativos, contribui para a intensificação dos impactos socioambientais. Contudo, o fortalecimento da capacidade de resposta por meio de estratégias institucionais, tecnológicas e sociais pode reduzir expressivamente essa vulnerabilidade.

Dessa forma, a análise articulada desses três elementos permite não apenas identificar os fatores determinantes da vulnerabilidade, mas também subsidiar a formulação de políticas públicas e ações eficazes de adaptação às mudanças climáticas. Essa dinâmica é representada na Figura 2.

Figura 2 - Esquema conceitual da vulnerabilidade à seca no semiárido paraibano.



Fonte: autora, 2026.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado da Paraíba possui uma população de 3.974.687 habitantes (IBGE, 2022) e abrange uma área territorial de 56.467,242 km<sup>2</sup>, que corresponde a 3,6% do território do Nordeste. Cerca de 90,91% da extensão do Estado está situada na região semiárida (Cunico *et al.*, 2021). Ou seja, dos 223 municípios do Estado, 198 pertencem à região semiárida (INSA, 2024). Essa região caracteriza-se por uma distribuição temporal e espacial das chuvas altamente irregulares, com áreas suscetíveis aos impactos da estiagem que, quando ocorrem de maneira prolongada, são classificadas como eventos de seca e desencadeiam grandes problemas para a sociedade como um todo.

No contexto climático adverso, o bioma Caatinga, predominante no Semiárido Brasileiro, desempenha papel fundamental para a manutenção dos serviços ecossistêmicos locais, sustentando atividades produtivas, regulando o microclima e contribuindo para a subsistência das populações rurais. Ainda assim, apesar de sua

relevância socioambiental e de seu reconhecimento como uma das florestas secas mais importantes do mundo, a Caatinga apresenta recorrentes processos de degradação ambiental, associados tanto às pressões antrópicas quanto às condições climáticas adversas (Silva *et al.*, 2016).

O estado da Paraíba limita-se ao Norte com o Rio Grande do Norte, ao Sul com Pernambuco, a Oeste com o Ceará e a Leste é banhado pelo Oceano Atlântico. Sua região litorânea apresenta clima tropical úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Contudo, à medida que se avança em direção ao interior, observa-se uma transição para o clima semiárido, caracterizado por longos períodos de estiagem e elevada irregularidade na distribuição das chuvas (Francisco; Santos, 2017).

Utilizando métodos de análise multivariada, Braga e Silva (1990) propuseram uma segmentação climática para o estado da Paraíba, identificando seis regiões com relativa homogeneidade pluviométrica, ou Microrregiões Pluviometricamente Homogêneas (MPH) (Bandeira; Becker; Cabral, 2024). Essa classificação foi posteriormente aprimorada por Silva (1996), que denominou as regiões como: Litoral, Brejo, Agreste, Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão (Francisco; Santos, 2017). Dentre essas, as regiões do Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão apresentam um regime de chuvas concentrado, predominantemente, entre os meses de fevereiro e maio, enquanto nas regiões do Agreste, Brejo e Litoral, o período chuvoso ocorre, em sua maioria, entre abril e julho.

Grande parte dos rios da Paraíba, sobretudo na região semiárida, possui caráter intermitente, tornando-se temporariamente secos durante longos períodos de estiagem. A variabilidade no volume de água desses cursos fluviais está diretamente associada à distribuição espacial e temporalmente irregular das chuvas que ocorrem na região (Silva; Duarte, 2017).

O clima da Paraíba é caracterizado por uma alternância entre períodos secos e chuvosos, com elevada irregularidade na distribuição das chuvas ao longo do ano (Rodrigues *et al.*, 2022). Essa instabilidade climática, aliada a fatores socioeconômicos e fragilidades ambientais, contribui para a vulnerabilidade à seca no Estado. Consequentemente, o aumento da frequência e da intensidade das secas tem comprometido a resiliência dos ecossistemas naturais e das populações humanas (Lucena; Cunico; Moura, 2023).

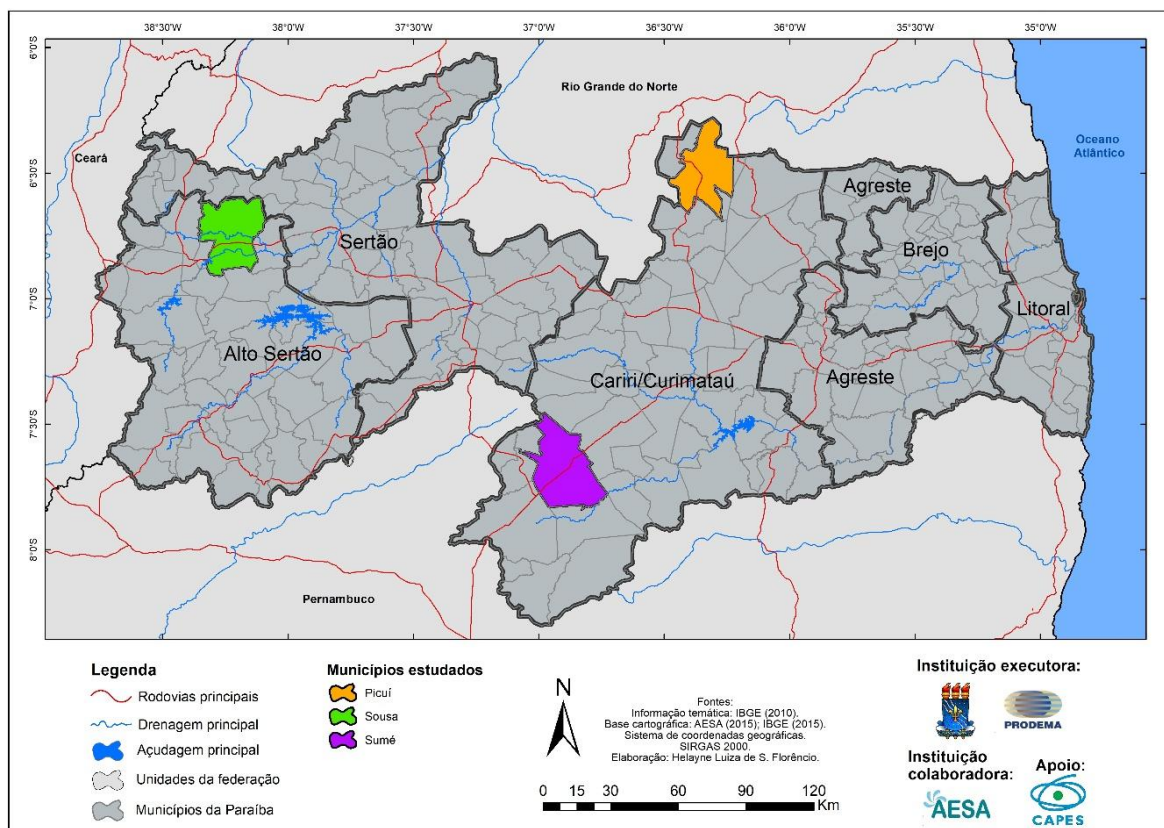
A condição natural da região é agravada por aspectos como a baixa estabilidade dos solos e o manejo inadequado dos recursos hídricos, fatores que afetam diretamente a

produtividade agrícola e a disponibilidade de água (Bezerra *et al.*, 2020). Em meio a esse cenário, muitos moradores dependem de fontes de renda limitadas, como programas de assistência governamental, que se mostram insuficientes para garantir a segurança econômica durante os prolongados períodos de estiagem (Silva *et al.*, 2017a).

Aproximadamente, 42% dos municípios paraibanos são classificados como áreas propensas a risco muito alto para desastres climáticos, especialmente em razão das vulnerabilidades socioeconômicas e da alta suscetibilidade à seca (Lucena; Cunico; Moura, 2023). A escassez de água tem provocado impactos econômicos severos, incluindo a redução da produção agropecuária, o aumento do desemprego e o êxodo rural, além de contribuir para o agravamento de tensões sociais em áreas mais afetadas (Silva *et al.*, 2017b).

Os três municípios analisados pertencem a duas das seis Microrregiões Pluviometricamente Homogêneas (MPH) estabelecidas para o estado da Paraíba. Os municípios de Picuí e Sumé pertencem à MPH do Cariri/Curimataú, enquanto Sousa está inserido na MPH do Alto Sertão (Figura 3).

Figura 3 - Localização das áreas de estudo no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil.



Fonte: autora, 2026.

A MPH do Cariri/Curimataú é composta por 52 municípios e fica localizada na zona de transição entre as regiões do Agreste, a Leste, e Sertão, a Oeste. A região do apresenta características típicas do clima semiárido e está sujeita a elevadas vulnerabilidades relacionadas a desastres climáticos, especialmente às secas (Silva; Moura; Cunico, 2024). Também, a região apresenta características climáticas típicas do semiárido, com ausência de excedente hídrico ao longo do ano e ocorrência de déficits de água no solo por, em média, sete meses. Essa condição impõe limitações às atividades agropecuárias, exigindo estratégias de armazenamento hídrico para garantir a subsistência das populações e a manutenção do desenvolvimento regional (Araújo *et al.*, 2017).

O Cariri/Curimataú apresenta um risco muito alto de desastres à seca em decorrência da persistência de longos períodos de estiagem, limitações socioeconômicas e altos níveis de vulnerabilidade social (Lucena; Cunico; Moura, 2023).

A MPH do Alto Sertão Paraibano é composta por 39 municípios e fica localizada na zona de transição entre a MPH do Sertão, a Leste, e o estado do Ceará, a Oeste. A região possui uma forte dependência das chuvas para o desenvolvimento das atividades agropecuárias. A estação chuvosa, concentrada entre os meses de fevereiro e maio, é responsável por mais de 70% da precipitação anual e exerce grande influência sobre a dinâmica econômica da região (Lima *et al.*, 2021). Entretanto, a área é frequentemente impactada por eventos de seca, tendo registrado 503 ocorrências climáticas adversas entre 2003 e 2016, predominantemente associadas à escassez hídrica (Silva; Moura, 2018).

A agricultura predominante é de base familiar e enfrenta limitações relacionadas à segurança alimentar. Como resposta a esses desafios, surgiram iniciativas como as feiras agroecológicas, voltadas à valorização de práticas sustentáveis e ao fortalecimento dos mercados locais. São incentivadas estratégias como o uso de defensivos naturais e técnicas voltadas à conservação da água, com o intuito de elevar a produtividade sem comprometer os princípios da sustentabilidade ambiental (Gurjão *et al.*, 2009; Nicolau *et al.*, 2015).

No mais, as oscilações climáticas exercem forte influência sobre a economia regional, uma vez que a agricultura e a criação de animais representam pilares fundamentais para a subsistência e o desenvolvimento das comunidades locais (Lima *et al.*, 2021; Silva; Moura, 2018).

Então, as MPH do Cariri/Curimataú e do Alto Sertão paraibano apresentam um conjunto de características que acentuam sua vulnerabilidade aos eventos de seca, como a elevada variabilidade climática, a escassez hídrica e a forte dependência da agropecuária

de base familiar. Esses fatores limitam o desenvolvimento regional e agravam os impactos sociais, econômicos e ambientais associados à irregularidade das precipitações.

Inseridos nesse contexto, os municípios de Picuí, Sousa e Sumé representam diferentes porções territoriais do semiárido paraibano, o que possibilita a análise de contrastes territoriais e climáticos sob um mesmo arcabouço metodológico. Apesar das diferenças espaciais, os municípios compartilham características estruturais comuns, como a recorrência de eventos de estiagem e a forte dependência das atividades agropecuárias em relação às condições pluviométricas. Ademais, a disponibilidade de séries históricas pluviométricas contínuas e a possibilidade de diálogo com estudos anteriores reforçam a pertinência do recorte adotado, contribuindo para a identificação dos condicionantes da vulnerabilidade à seca e para a produção de subsídios técnicos e científicos voltados à formulação de estratégias de mitigação e adaptação, com vistas ao fortalecimento dos sistemas socioambientais frente às adversidades climáticas.

### **5.1. Caracterização físico-natural e socioeconômica do município de Picuí**

O município de Picuí, situa-se entre as latitudes de 6°17'24"S e 6°41'24"S, e as longitudes de 36°28'48"O e 36°13'48"O do estado da Paraíba. Possui uma altitude de, aproximadamente, 439 m e 667,714 km<sup>2</sup> de extensão territorial (IBGE, 2024). A densidade demográfica do município é de 27,46 hab/km<sup>2</sup> e população é de aproximadamente 18,6 mil habitantes, mantendo relativa estabilidade demográfica nas últimas décadas (IBGE, 2022).

A estrutura econômica do município é predominantemente sustentada pelo setor de serviços, com destaque para a administração pública, que representa a principal fonte de emprego formal e renda. A agropecuária, embora apresente participação modesta no Produto Interno Bruto municipal, desempenha papel social relevante, sobretudo para a população rural, sendo caracterizada por atividades de agricultura de sequeiro e criação extensiva de animais, fortemente condicionadas pela irregularidade pluviométrica típica do semiárido (IBGE, 2022; IPEA, 2023).

As principais produções agropecuárias do município de Picuí foram caracterizadas a partir do número de estabelecimentos produtivos, considerando principalmente a criação de bovinos e de aves. No âmbito agrícola, destacam-se, entre as lavouras permanentes, o maracujá e o caju, enquanto, entre as lavouras temporárias,

sobressaem milho em grãos, feijão-fradinho em grãos, palma forrageira e fava em grãos (IBGE, 2017).

A atividade minerária, historicamente presente no município de Picuí, é desenvolvida predominantemente por meio do garimpo, configurando-se como a forma mais simples e artesanal de extração mineral. Essa atividade concentra-se na exploração de minerais industriais, como feldspato, mica, quartzo e gemas, extraídos diretamente do solo ou do subsolo. Embora o garimpo contribua para a geração de renda complementar, especialmente em períodos de estiagem, sua prática ocorre, em grande parte, de maneira informal e sem planejamento adequado, o que potencializa impactos ambientais negativos, como degradação do solo, supressão da cobertura vegetal e alteração das condições naturais da paisagem (Medeiros; Dantas; Barros, 2019).

Também, no município há indústria ceramista, predominantemente composta por micro e pequenas unidades produtivas, cuja atuação tem contribuído para a intensificação da degradação ambiental. Relatos de moradores indicam aumento da poeira, associado à extração de argila e à supressão da cobertura vegetal, processos que favorecem a exposição do solo e potencializam a elevação da temperatura e da evapotranspiração, contribuindo para o avanço da desertificação em um ambiente já climaticamente frágil (Santos, 2017).

Observa-se no município a intensificação da pressão sobre os recursos naturais, refletida no aumento de áreas com solos expostos e na ampliação de processos de degradação e desertificação, com efeitos sobre o microclima local e a dinâmica socioeconômica rural (Medeiros; Dantas; Barros, 2019).

Esses processos estão associados, entre outros fatores, às condições climáticas predominantes no semiárido. Nesse sentido, o clima do município de Picuí enquadra-se no tipo semiárido quente (BSh), segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizando-se por elevadas temperaturas e baixos índices pluviométricos (Paraíba, 2011). A temperatura média anual situa-se em torno de 26°C, com médias geralmente superiores a 24°C, apresentando pequena amplitude térmica anual, embora com variações significativas entre os períodos diurno e noturno, especialmente em áreas com cobertura vegetal reduzida. A precipitação média anual é baixa, em torno de 365 mm, e distribui-se de forma irregular ao longo do ano, com alternância entre eventos de chuvas concentradas e períodos prolongados de estiagem (Prefeitura Municipal de Picuí, s.d.).

Esse regime climático é marcado por elevada variabilidade espacial e temporal das chuvas e pela recorrência de eventos de seca, que condicionam fortemente o balanço

hídrico da região. Predomina uma deficiência hídrica persistente, a qual tende a ser intensificada por possíveis reduções nos volumes pluviométricos e pelo aumento das temperaturas médias associados às mudanças climáticas (Medeiros; Francisco; Bandeira, 2012).

O município de Picuí está inserido no domínio da bacia hidrográfica do rio Piranhas, integrando a sub-bacia hidrográfica do rio Seridó, uma das mais representativas do semiárido paraibano em termos de recorrência de secas e intermitência dos cursos d'água (AESAs, 2023). A rede hidrográfica municipal é composta por cursos d'água de regime intermitente, com padrão de drenagem predominantemente dendrítico, refletindo as condições climáticas semiáridas e o substrato cristalino dominante na região.

Entre os principais cursos d'água superficiais destacam-se os rios Picuí, Letreiro e da Passagem, além de diversos riachos temporários, como Quixaba, Carrapateira, Serrinha, Pimenteira, Malhada do Rancho, Torre e Várzea Grande, que apresentam escoamento restrito aos períodos chuvosos. Essa característica limita a disponibilidade hídrica superficial ao longo do ano e reforça a dependência de estruturas de acumulação artificial para o atendimento das demandas urbanas e rurais.

Os principais reservatórios superficiais do município incluem os açudes Várzea Grande, Caraibeiras, Conceição, do Dedo, Carrapato, Picuí e Jurema, além de lagoas temporárias associadas às depressões naturais do relevo. Esses corpos hídricos desempenham papel fundamental na regulação do abastecimento durante os períodos de estiagem, embora estejam sujeitos a elevadas perdas por evaporação e à redução significativa de volume em anos secos, condição típica do semiárido (AESAs, 2023).

O abastecimento da sede urbana de Picuí é realizado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), com captação principal no açude Várzea Grande, que também atende municípios vizinhos da região do Seridó Oriental. No meio rural, entretanto, a disponibilidade hídrica é mais limitada e marcada pela dependência de soluções emergenciais, como o abastecimento por carros-pipa (Figura 4 e Figura 5) e cisternas (Figura 6), especialmente durante períodos de seca prolongada. Essa dependência evidencia limitações na gestão dos recursos hídricos locais e a vulnerabilidade das comunidades rurais frente à irregularidade climática.

Figura 4 - Carros pipas para abastecimento da zona rural de Picuí (PB).



Fonte: autora, 28 de agosto de 2025.

Figura 5 - Carro pipa para abastecimento da zona rural de Picuí (PB).



Fonte: autora, 28 de agosto de 2025.

Figura 6 - Cisterna utilizada para armazenamento de água, como estratégia de convivência com o semiárido, em Picuí (PB).



Fonte: autora, 28 de agosto de 2025.

A vegetação do município de Picuí é, predominantemente, composta pelo bioma Caatinga, caracterizado como uma formação vegetal exclusivamente brasileira, típica da região semiárida. Trata-se de uma vegetação xerófitas, composta por espécies adaptadas a condições de baixa disponibilidade hídrica, como arbustos lenhosos, cactáceas e bromeliáceas (Figura 7). Estima-se que cerca de 30% da área do município esteja submetida a processos intensos de degradação ambiental, com uma redução aproximada de 20% da biomassa viva nas últimas três décadas (Silveira *et al.*, 2018).

Figura 7 - Cactácea típica da Caatinga no município de Picuí (PB).



Fonte: autora, 28 de agosto de 2025.

A conversão da vegetação nativa em áreas de pastagem tem intensificado os impactos ambientais, contribuindo para a deterioração dos recursos hídricos e acelerando a perda de solo (Sousa *et al.*, 2024). O município enfrenta sérios processos de desertificação e degradação da terra, refletidos na diminuição das áreas verdes e da cobertura vegetal ao longo do tempo. Esses processos estão diretamente associados a atividades antrópicas, como a extração indiscriminada de madeira e as explorações minerais e agrícolas sem práticas adequadas de conservação do solo.

Conforme o Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (Beltrão, 2005), o município de Picuí localiza-se em área dominada pelo embasamento cristalino do Nordeste brasileiro. Destacam-se como principais unidades geológicas os litotipos associados ao sistema Seridó, incluindo a Formação Seridó e o Grupo Seridó, além do Complexo Serrinha-Pedro Velho. Também ocorrem corpos graníticos de composição variada, representados por granitóides de quimismo indiscriminado e pela Suíte Poço do

Cruz. Esse conjunto litológico reflete a história evolutiva da Província Borborema, marcada por eventos tectono-metamórficos e magmáticos de idade pré-cambriana.

Esse arcabouço geológico é caracterizado pela ampla ocorrência de rochas metamórficas, como gnaisses e migmatitos, associadas a intrusões graníticas e pegmatíticas que compõem a estrutura do embasamento cristalino local. As intrusões pegmatíticas assumem expressiva relevância econômica em escala regional, uma vez que estão relacionadas à ocorrência de minerais como tantalita, columbita, cassiterita e berilo, reforçando a importância histórica da atividade minerária no Seridó Oriental (Souza *et al.*, 2022). A Figura 8 apresenta amostra de rocha ferruginosa associada a solos rasos em Picuí, refletindo condicionantes geológicos que contribuem para a baixa profundidade do solo.

Figura 8 - Amostra de rocha ferruginosa, em Picuí (PB).



Fonte: autora, 28 de agosto de 2025.

No que se refere aos solos, o município apresenta predominância de classes formadas a partir do intemperismo das rochas cristalinas (Francisco *et al.*, 2012). Dentre os principais tipos pedológicos identificados destacam-se os Argissolos, os Luvisolos Crômicos Órticos típicos, os Neossolos Flúvicos Eutróficos Solódicos, além dos Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos Eutróficos. De modo geral, esses solos

apresentam perfis rasos a pouco profundos, com presença frequente de fragmentos rochosos e limitações físicas que reduzem sua capacidade de retenção hídrica, especialmente no caso dos Neossolos Litólicos e Regolíticos.

Análises pedológicas mais recentes, fundamentadas na atualização do mapa de solos do Estado da Paraíba por meio de geotecnologias (Francisco *et al.*, 2023), indicam que, no âmbito regional do Seridó paraibano, os Neossolos continuam sendo as classes mais extensas, seguidos pelos Argissolos e Luvisolos. Esses resultados corroboram os levantamentos anteriores, ao mesmo tempo em que aprimoram a representação espacial das classes de solos, sem alterar substancialmente o quadro pedológico predominante.

A interação entre o substrato geológico cristalino, a predominância de solos rasos e a elevada variabilidade climática típica do semiárido estabelece limitações naturais à infiltração e ao armazenamento de água no solo, intensificando a sensibilidade do território aos eventos de estiagem. Nesse contexto, as características geológicas e pedológicas do município de Picuí configuram-se como condicionantes estruturais da vulnerabilidade ambiental e socioeconômica, influenciando diretamente os padrões de uso e ocupação do solo, a disponibilidade hídrica e as estratégias locais de adaptação e enfrentamento às secas recorrentes que marcam o semiárido paraibano.

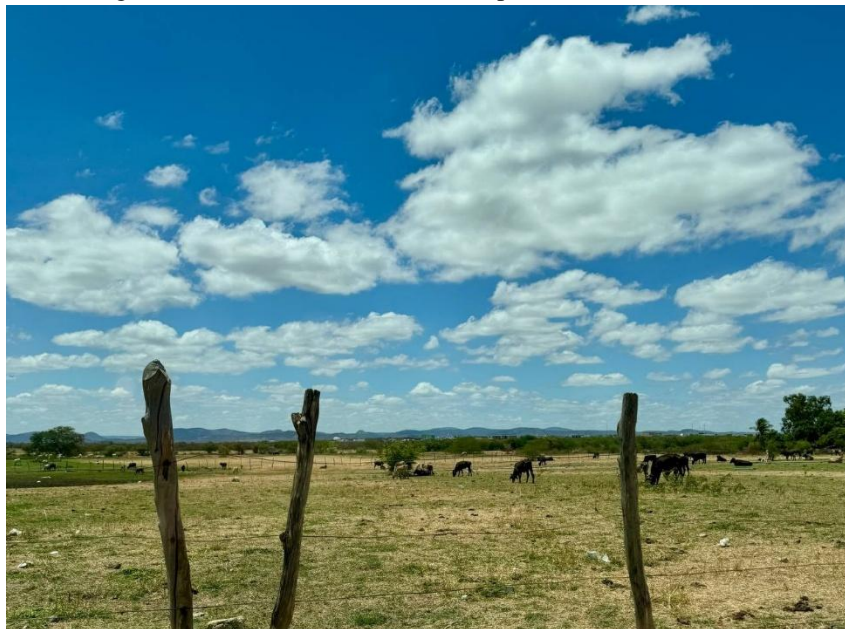
## **5.2. Caracterização físico-natural e socioeconômica do município de Sousa**

O município de Sousa localiza-se no Alto Sertão paraibano e ocupa uma área territorial de 728,492 km<sup>2</sup>, apresentando posição estratégica na rede urbana regional (IBGE, 2024). Situa-se entre as latitudes 6°35'24"S e 6°54'36"S e as longitudes 38°21'36"O e 38°05'24"O, com altitude média aproximada de 220 m. Segundo o Censo Demográfico de 2022, o município possui população estimada em 70.066 habitantes, o que resulta em densidade demográfica de 92,33 hab/km<sup>2</sup>, configurando-se como o município mais populoso entre aqueles analisados neste estudo (IBGE, 2022).

Do ponto de vista socioeconômico, Sousa destaca-se como um dos principais polos urbanos e econômicos do Alto Sertão da Paraíba, exercendo influência regional sobre municípios vizinhos. Sua economia apresenta estrutura diversificada, com predominância do setor de serviços, seguido pela indústria e pela agropecuária (Figura 9). O setor industrial possui relevância expressiva no contexto estadual, com destaque para indústrias de produtos alimentícios, laticínios e beneficiamento agroindustrial,

consolidando Sousa como um dos municípios mais industrializados do interior paraibano (SEBRAE, 2023).

Figura 9 - Ambiente rural e atividade pecuária, em Sousa (PB).



Fonte: autora, 28 de outubro de 2025.

As principais produções agropecuárias do município de Sousa foram caracterizadas a partir do número de estabelecimentos produtivos, considerando principalmente a criação de bovinos e de aves. No âmbito agrícola, destacam-se, entre as lavouras permanentes, o coco-da-baía e a banana, enquanto, entre as lavouras temporárias, sobressaem feijão-fradinho, milho em grãos e palma forrageira (IBGE, 2017).

A agropecuária exerce papel relevante na economia do município de Sousa, sobretudo por meio da agricultura irrigada desenvolvida no Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG), localizado no distrito homônimo, a cerca de 15 km da sede municipal. Com área aproximada de 5.000 ha, o PISG constitui um dos mais importantes projetos de irrigação do estado da Paraíba, sendo responsável pela produção de frutas destinadas tanto ao mercado regional quanto a grandes centros urbanos do país, com destaque para a cultura do coco, além de banana, manga e goiaba (Silva *et al.*, 2015).

Apesar de sua expressiva importância econômica, a agricultura irrigada no município também impõe desafios ambientais, uma vez que áreas irrigadas do Sertão paraibano, incluindo Sousa, são suscetíveis a processos de salinização e degradação dos solos, sobretudo quando associados ao manejo inadequado da irrigação e às condições

climáticas semiáridas. Essas áreas configuram-se como zonas de maior vulnerabilidade ambiental, com potencial de intensificação de processos de desertificação, o que reforça a necessidade de ações integradas de planejamento, monitoramento e gestão sustentável dos recursos naturais (Soares *et al.*, 2016).

Na Figura 10, observa-se a formação de torrões em campo, associada à retração hídrica do solo, intensificada por condições de baixa umidade e manejo inadequado, configurando um estágio inicial de degradação física, com impactos diretos sobre a infiltração da água e a aptidão agrícola da área (Chan, 1982).

Figura 10 - Estrutura em torrões decorrente da retração hídrica na zona rural de Sousa (PB).



Fonte: autora, 28 de outubro de 2025.

O município apresenta um clima marcado pela irregularidade, especialmente no regime de precipitação, o que interfere diretamente na gestão dos recursos hídricos e nas atividades agropecuárias locais. O município apresenta clima tropical, classificado como Aw segundo a tipologia de Köppen-Geiger, que é caracterizado por temperaturas elevadas ao longo do ano e uma concentração da chuva nos meses de verão, com um período seco bem definido durante o inverno (Paraíba, 2011).

Os dados pluviométricos médios da região indicam totais anuais em torno de 750 mm, evidenciando um regime de chuvas caracterizado por elevada variabilidade interanual. No município de Sousa, o maior volume anual de precipitação registrado foi de 1.399 mm, observado em 2008, enquanto o menor total anual correspondeu a 330 mm, em 1958 (Silva Filho; Araújo; Nogueira, 2016). A distribuição das chuvas apresenta forte irregularidade, com a alternância entre anos de estiagem severa e períodos de

precipitações intensas, o que caracteriza a instabilidade do regime pluviométrico local (Almeida, Cabral Júnior, 2014; Francisco *et al.*, 2016b). Essa variabilidade climática impõe desafios significativos ao planejamento das atividades agrícolas e à gestão dos recursos hídricos, reforçando a necessidade de análises sistemáticas das séries históricas de precipitação como subsídio à mitigação dos impactos associados a secas e eventos extremos de chuva.

A temperatura média anual é da ordem de 25°C, com médias diárias máximas próximas de 27°C e mínimas em torno de 23°C (Francisco; Medeiros; Santos, 2018). A região apresenta elevada disponibilidade de radiação solar, com insolação anual aproximada de 2.920 horas (Francisco *et al.*, 2016c).

O território municipal está inserido na sub-bacia hidrográfica do rio do Peixe, sendo drenado pelos rios do Peixe (Figura 11 e Figura 12) e Piranhas, a qual desempenha papel fundamental na drenagem do território municipal. A rede hidrográfica é composta, principalmente, pelos rios do Peixe, Piranhas Velho e Piranhas, além de diversos riachos, entre os quais se destacam Araras, da Serra, Santa Rosa, das Areias, do Cupim, Cipó, Seco, do Boi Morto, Riachão dos Anísios, da Mutuca, da Picada, Logradouro, dos Gatos, Lamarão e Califórnia. Todos esses cursos d'água apresentam regime de escoamento intermitente, típico das áreas semiáridas, e um padrão de drenagem dendrítico, condicionado pela irregularidade pluviométrica e pelas características fisiográficas regionais (CPRM, 2005).

Figura 11 - Trecho rural do Rio do Peixe, no município de Sousa (PB), em condição de baixa vazão.



Fonte: autora, 28 de outubro de 2025.

Figura 12 - Trecho rural do Rio do Peixe em condição de baixa vazão, no município de Sousa (PB).



Fonte: autora, 28 de outubro de 2025.

No mais, o município dispõe de importantes corpos de acumulação, com destaque para os açudes São Gonçalo, Velho, Juá e dos Patos, além das lagoas da Vereda, da Estrada e do Forno. Entre esses, o Açude São Gonçalo (Figura 13 e Figura 14) assume papel estratégico, sendo essencial para o abastecimento humano, a irrigação agrícola e a dessedentação animal, especialmente no perímetro irrigado homônimo, que constitui uma das principais áreas produtivas do município (Silva Filho; Araújo; Nogueira, 2016). Entretanto, a elevada variabilidade climática e a ocorrência recorrente de secas prolongadas comprometem a regularidade da oferta hídrica, tornando o sistema vulnerável em períodos críticos.

Figura 13 - Açude de São Gonçalo com nível bem abaixo de sua capacidade.



Fonte: autora, 29 de outubro de 2025.

Figura 14 - Açude de São Gonçalo no município de Sousa (PB).



Fonte: autora, 29 de outubro de 2025.

Nesse contexto, o município de Sousa passou a depender de forma substancial das águas provenientes do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) (Figura 15), como estratégia complementar para garantir a regularidade do abastecimento. A chegada dessas águas, por meio do Eixo Norte do PISF, reforça a segurança hídrica local ao alimentar reservatórios estratégicos, como o Açude São Gonçalo, que sustenta tanto o abastecimento urbano quanto as atividades agrícolas do perímetro irrigado. Essa dependência se intensifica sobretudo em períodos de estiagem prolongada, quando os mananciais naturais e os reservatórios locais apresentam níveis críticos devido ao regime intermitente dos rios e à irregularidade pluviométrica típica do semiárido.

Figura 15 - Descarga de água da Transposição do Rio São Francisco, em Sousa (PB).



Fonte: autora, 29 de outubro de 2025.

O abastecimento urbano de Sousa é realizado pelo Departamento de Água, Esgoto e Saneamento Ambiental de Sousa (DAESA), órgão municipal responsável pela captação, tratamento e distribuição de água à população urbana. Como estratégia para ampliar a segurança hídrica, o município tem recorrido, de forma complementar, à exploração de águas subterrâneas, sobretudo por meio da perfuração de poços profundos na bacia sedimentar do rio do Peixe, ação viabilizada por articulações com órgãos federais. Essa alternativa tem se mostrado relevante para reduzir a dependência exclusiva dos reservatórios superficiais, especialmente em contextos de estiagem prolongada.

O município de Sousa possui uma cobertura vegetal marcada pela diversidade de espécies adaptadas às condições climáticas da região, inserida no bioma Caatinga. A paisagem local é composta por remanescentes de vegetação nativa, áreas agrícolas e elementos ecológicos que refletem a dinâmica entre uso da terra e características ambientais (Figura 16). Estudos baseados em índices de vegetação indicam forte correlação entre a variabilidade pluviométrica e a condição da vegetação, evidenciando a dependência das chuvas para o desenvolvimento da cobertura vegetal (Schucknecht *et al.*, 2012).

Figura 16 - Paisagem rural com remanescentes de vegetação nativa em Sousa (PB).



Fonte: autora, 28 de outubro de 2025.

O município de Sousa apresenta um contexto geológico e geomorfológico marcado pela coexistência de ambientes sedimentares e cristalinos. Parte significativa de seu território está inserida na bacia sedimentar do rio do Peixe. Essa configuração favorece a ocorrência de aquíferos sedimentares, possibilitando a perfuração de poços para captação de água subterrânea, o que assume papel relevante no abastecimento hídrico local (Feitosa, 2008).

O relevo associado à bacia sedimentar do rio do Peixe apresenta superfícies planas a suavemente onduladas, com altitudes em torno de 200 m, enquanto as áreas adjacentes mantêm padrão semelhante, com altitude média próxima de 235 m. Em contraste, as porções norte e sul do município correspondem a terrenos do embasamento cristalino, caracterizados por relevo mais movimentado, variando de ondulado a montanhoso, com cotas superiores a 270 m, refletindo a transição entre ambientes sedimentares e cristalinos (Feitosa, 2008).

No que se refere à pedologia, a região apresenta cinco classes de solos predominantes: Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Vertissolo e Planossolo Nátrico. Essas classes exibem comportamentos físicos e hidrológicos distintos, condicionados tanto pela natureza do material de origem quanto pelas variações de relevo e drenagem (Santos *et al.*, 2018).

A combinação entre a presença de áreas sedimentares favoráveis à exploração de recursos hídricos subterrâneos, setores cristalinos com relevo mais acidentado e a diversidade de classes de solos confere ao município de Sousa um quadro ambiental complexo, caracterizado pela coexistência de compartimentos físicos com comportamentos distintos quanto à infiltração, ao armazenamento de água, ao escoamento superficial e ao potencial de uso do solo. Essa heterogeneidade ambiental condiciona a disponibilidade hídrica, os padrões de uso e ocupação do território e a resposta diferenciada do município frente à variabilidade climática característica do semiárido.

### **5.3. Caracterização físico-natural e socioeconômica do município de Sumé**

O município de Sumé possui área territorial de 833,315 km<sup>2</sup> (IBGE, 2024), e está em uma altitude de 518 m. Situa-se entre as latitudes de 7°26'60"S e 7°50'24"S, e as longitudes de 37°4'48"O e 36°43'48"O do estado da Paraíba. A população no último Censo Demográfico foi de 17.166 habitantes (IBGE, 2022).

O município apresenta uma taxa de pobreza elevada, com forte dependência da agricultura de subsistência e do setor público como principais fontes de emprego. Os indicadores sociais revelam um alto índice de analfabetismo, refletindo desafios históricos na área da educação. No entanto, o município dispõe de infraestrutura viária em boas condições, o que favorece o escoamento da produção e a mobilidade regional. Destaca-se também por apresentar um crescimento econômico expressivo nos últimos anos, aliado a uma elevada taxa de frequência escolar, em torno de 90%, resultado de investimentos e da diversificação de tecnologias educacionais aplicadas no ensino local (Sousa, 2013).

A estrutura econômica do município de Sumé é marcada pela predominância do setor público e do setor de serviços, que concentram as principais oportunidades de ocupação e renda. A agropecuária, embora apresente menor participação na economia municipal, mantém relevância sobretudo no meio rural, sendo fortemente condicionada pelas limitações climáticas e pela escassez hídrica típicas do semiárido. Nesse contexto, parcela significativa da população rural permanece vinculada a atividades de subsistência e ao acesso a programas de transferência de renda, evidenciando a dependência socioeconômica de políticas públicas (IBGE, 2022).

As Figuras 17 e 18 ilustram, respectivamente, a ocupação rural e as condições ambientais, bem como áreas agrícolas associadas à agricultura de subsistência na zona rural do município de Sumé, evidenciando a relação entre limitações climáticas, uso da terra e dependência socioeconômica da população local.

Figura 17 - Ocupação rural e condições ambientais em área semiárida do município de Sumé (PB).



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

Figura 18 - Área agrícola em contexto de agricultura de subsistência na zona rural de Sumé (PB).



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

As principais produções agropecuárias do município de Sumé foram caracterizadas a partir do número de estabelecimentos produtivos, considerando principalmente a criação de ovinos e de aves. No âmbito agrícola, destacam-se, entre as lavouras permanentes, o maracujá e o coco-da-baía, enquanto, entre as lavouras temporárias, sobressaem feijão-fradinho, milho em grãos e palma forrageira (Figura 19) (IBGE, 2017).

Figura 19 - Área rural com cultivo de palma forrageira, em Sumé (PB).



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

A reduzida diversificação produtiva, associada à forte dependência de recursos públicos e às limitações ambientais impostas pelo semiárido, evidencia a limitada capacidade local de geração de emprego e renda. Esse cenário reforça a vulnerabilidade socioeconômica do município e a estreita relação entre as condições sociais e as restrições ambientais, indicando a necessidade de políticas públicas integradas voltadas à adaptação às secas e à promoção do desenvolvimento sustentável.

Em relação ao clima, o município de Sumé apresenta clima predominantemente semiárido quente, classificado como BSh segundo a tipologia de Köppen-Geiger, com regime pluviométrico concentrado entre os meses de fevereiro e maio, seguido por prolongados períodos de estiagem (Paraíba, 2011).

O regime de chuvas é marcado por forte irregularidade temporal, tanto em escala intra-anual quanto interanual, com totais pluviométricos médios geralmente inferiores a 600 mm, variando significativamente de um ano para outro, o que contribui para a elevada variabilidade hidrológica e para a recorrência de eventos de seca meteorológica (Sena; Moraes Neto; Lucena, 2019). Essa irregularidade pluviométrica, aliada à curta duração da estação chuvosa, resulta em baixa recarga hídrica superficial (Figura 20) e subterrânea, intensificando a vulnerabilidade ambiental e socioeconômica do município.

A Figura 20 e Figura 21 evidencia trecho de drenagem fluvial com passagem molhada em condição de leito seco no município de Sumé, refletindo a reduzida recarga hídrica superficial associada à irregularidade do regime pluviométrico.

Figura 20 - Passagem molhada sobre leito fluvial seco, evidenciando escassez hídrica.



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

Figura 21 - Passagem molhada sobre leito fluvial seco, evidenciando escassez hídrica.



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

Essas condições climáticas exercem influência direta sobre a atividade agrícola, ocasionando em perdas de safra nos anos de precipitação abaixo da média, especialmente para culturas temporárias como milho e feijão. Além disso, a elevada evapotranspiração

e os longos períodos secos comprometem o armazenamento de água no solo, restringindo o desenvolvimento das culturas e limitando a adoção de práticas agrícolas mais intensivas, o que reforça o caráter de subsistência da produção agrícola no município.

A temperatura média anual em Sumé situa-se em torno de 26°C, com valores máximos diários frequentemente superiores a 32°C e mínimas em torno de 15°C, associadas a uma elevada disponibilidade de radiação solar, com insolação anual da ordem de 2.800 horas de luz (Moura, 2002). Esse conjunto de fatores climáticos favorece altas taxas de evapotranspiração, ampliando o déficit hídrico e condicionando tanto o calendário agrícola quanto as estratégias produtivas adotadas, como a redução da área cultivada, a substituição de culturas e a maior dependência de sistemas de apoio hídrico em anos mais secos.

O município de Sumé está inserido na bacia hidrográfica do rio Paraíba, tendo como principal curso d'água o rio Sucuru. O rio Sucuru nasce a, aproximadamente, 5 km do município de Ouro Velho, seguindo a direção oeste-leste até alcançar o território de Sumé, onde seu curso é interrompido pelo Açude de Sumé, cerca de 2 km antes da sede municipal (Moura, 2002). Assim como os demais cursos d'água do Cariri paraibano, o rio Sucuru apresenta regime de escoamento intermitente, fortemente condicionado pela irregularidade das chuvas e pelas elevadas taxas de evapotranspiração características do semiárido.

As Figuras 22 e 23 ilustram o açude do município de Sumé, evidenciando o armazenamento hídrico superficial e a dependência desse reservatório frente à irregularidade pluviométrica característica do semiárido.

Figura 22 - Açude de Sumé (PB) evidenciando redução do volume armazenado.



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

Figura 23 - Açude de Sumé (PB) evidenciando redução do volume armazenado.



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

O Açude de Sumé constitui a principal infraestrutura hídrica do município, sendo fundamental para o abastecimento humano, a dessedentação animal e o suporte às atividades agropecuárias. Esse reservatório possui capacidade de armazenamento da ordem de 44,8 milhões de metros cúbicos, desempenhando papel estratégico na gestão hídrica local em um contexto marcado por elevada variabilidade climática (Santos *et al.*, 2022). No entanto, estudos indicam que a capacidade original do açude foi muito reduzida ao longo do tempo, em decorrência de processos de assoreamento, além da diminuição dos índices pluviométricos e da implantação de pequenos reservatórios na parte superior da bacia hidrográfica (Moura, 2002).

A Figura 24 apresenta a antiga sede do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em Sumé, estrutura historicamente vinculada à gestão do açude e às ações públicas voltadas ao enfrentamento da escassez hídrica.

Figura 24 - Antiga sede do DNOCS em Sumé (PB).



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

Diante desse cenário, em períodos de escassez extrema, recorre-se ao uso de caminhões-pipa (Figura 25) para a captação de água em pontos estratégicos de suprimento e sua distribuição às áreas rurais e comunidades sem abastecimento regular, complementando de forma emergencial as necessidades hídricas locais (Farias, 2018).

Figura 25 - Caminhão-pipa utilizado no abastecimento de comunidades do município de Sumé (PB).



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

A rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Sucuru é composta por diversos afluentes e riachos de menor porte, que contribuem para a dinâmica hidrológica regional. Destacam-se como principais afluentes os riachos Pedra Comprida, Olho D'água dos Caboclos, Olho D'água de Cima, Mandacaru, Oitis e Cachoeira. Além desses, outros cursos d'água de relevância local incluem os riachos das Craibeiras, Lagoa da Cruz, Feijão, Pinhões, Carnaúba, das Carnaúbas, das Cinco Vacas, Olho D'água, Pedra da Costa e Felipe, todos caracterizados por escoamento intermitente e elevada sensibilidade às variações climáticas (CPRM, 2005b).

Apesar da importância estratégica desses recursos, a qualidade da água constitui um fator limitante no município. Estudos realizados na região indicam que os corpos hídricos superficiais, incluindo rios e reservatórios, frequentemente apresentam valores elevados de turbidez e concentração de sólidos dissolvidos, não atendendo plenamente aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente, o que compromete o uso da água para consumo humano sem tratamento adequado (Silva, 2017).

Inserido no contexto ambiental do semiárido brasileiro, o município de Sumé apresenta como formação vegetal predominante o bioma Caatinga. A vegetação local é composta principalmente por formações de Caatinga hiperxerófila e hipoxerófila, caracterizadas por espécies adaptadas às condições de escassez hídrica, incluindo arbustos, árvores de pequeno porte, cactáceas, gramíneas e plantas com adaptações suculentas.

Algumas espécies observadas dentro do limite do município de Sumé são: pereiro (*Aspidos-perma pyrofolium* Mart. - Apocynaceae), marmeleiro (*Croton* sp - Euphorbiaceae), quixabeira (*Bumelia sertorum* Mart. - Sapotaceae), aroeira (*Astronium urundeuva* Engl. - Anacardiaceae), braúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl. - Anacardiaceae), xique-xique (*Pilocereus gounellei* Weber - Cactaceae), mandacaru (*Cereus jamacaru* DC. - Cactaceae) (Moura, 2002).

O município de Sumé insere-se no contexto do embasamento cristalino do Nordeste brasileiro, integrando o domínio geotectônico da Província Borborema, caracterizado por rochas ígneas e metamórficas de idade pré-cambriana. De acordo com levantamentos geológicos clássicos e atualizações cartográficas recentes, a área municipal é predominantemente constituída por unidades do Complexo Gnáissico-Migmatítico e por extensos corpos granitóides, associados a diferentes eventos magmáticos e tectono-metamórficos (Santos *et al.*, 2021), condição evidenciada pelos

afloramentos graníticos em forma de matacões observados em área rural do município (Figura 26).

Figura 26 - Matacões graníticos em paisagem semiárida de Sumé (PB).



Fonte: autora, 29 de agosto de 2025.

O mapeamento geológico, realizado pelo Serviço Geológico do Brasil, confirma a predominância de litologias cristalinas em Sumé, com ocorrência pontual de sedimentos quaternários associados a depósitos aluviais recentes, restritos principalmente aos vales dos cursos d'água intermitentes. Esses depósitos apresentam composição granulométrica variada e representam importante material de origem para a formação dos solos aluviais, embora possuam distribuição espacial limitada (Santos *et al*, 2018).

Esse contexto geológico exerce influência direta sobre a dinâmica hídrica do município, uma vez que a predominância de litologias cristalinas, caracterizadas por baixa porosidade e permeabilidade, limita a capacidade de infiltração, armazenamento e recarga de água subterrânea. Embora os depósitos sedimentares quaternários associados às planícies aluviais apresentem maior potencial de retenção hídrica, sua distribuição restrita e dependência do regime pluviométrico reduzem sua eficiência durante períodos de estiagem prolongada. Dessa forma, o arcabouço geológico de Sumé atua como condicionante estrutural da vulnerabilidade às secas, potencializando os impactos da variabilidade climática típica do semiárido.

Do ponto de vista pedológico, o município de Sumé insere-se na bacia do alto curso do rio Sucuru, caracterizada por solos com fertilidade natural relativamente elevada no contexto do semiárido, porém com limitações relacionadas à reduzida profundidade

efetiva e às condições físicas do perfil. Predominam Argissolos, Luvisolos Crômicos Órticos, Neossolos Litólicos e Flúvicos, além de Planossolos Nátricos e Solódicos, cujos comportamentos físicos e hidrológicos distintos, condicionados pelo material de origem, relevo e drenagem, influenciam diretamente o potencial agrícola, a disponibilidade hídrica no solo e a sensibilidade do território aos períodos de estiagem (Brasil, 1972; Santos *et al.*, 2018).

Quadro 2 - Síntese das características da área de estudo nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB).

<b>Aspecto</b>	<b>Picuí</b>	<b>Sousa</b>	<b>Sumé</b>
	Curimataú	Alto Sertão	Cariri
<b>Localização regional</b>	Região Geográfica Imediata de Cuité–Nova Floresta	Região Geográfica Imediata de Sousa–São Bento	Região Geográfica Imediata de Monteiro
<b>Bioma predominante</b>	Caatinga	Caatinga	Caatinga
<b>Tipo climático</b>	Semiárido quente (BSh)	Tropical com estação seca	Semiárido quente (BSh)
<b>Temperatura média anual</b>	Aproximadamente 26°C	Aproximadamente 25°C	Aproximadamente 26°C
<b>Precipitação média anual</b>	Cerca de 365 mm com forte irregularidade	Regime irregular com concentração sazonal	Geralmente inferior a 600 mm e irregular
<b>Principal fonte de abastecimento</b>	Açude Várzea Grande	Açude São Gonçalo	Açude de Sumé
<b>Atividades econômicas predominantes</b>	Setor de serviços, agropecuária de sequeiro e criação extensiva no meio rural	Setor de serviços, indústria e agropecuária	Setor público e agricultura de subsistência no meio rural

Fonte: autora, 2026.

## 6. MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1. Índices climáticos de extremos de precipitação

Para a análise do Índice de Dias Consecutivos Secos (DCS) e do Índice de Dias Consecutivos Úmidos (DCU) nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, foram utilizados dados de precipitação diária referentes ao período de 1994 a 2023, disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). As séries históricas passaram por verificação de consistência, não sendo identificadas falhas ou

lacunas temporais, razão pela qual não foi necessária a aplicação de procedimentos de estimativa ou preenchimento de dados.

A escolha desse intervalo temporal também atende às recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), que orienta a utilização de séries históricas com, no mínimo, 30 anos consecutivos para a caracterização do comportamento climático de uma região, denominadas normais climatológicas. Esse período é considerado adequado para reduzir a influência da variabilidade interanual e representar de forma mais fiel as condições médias do clima, permitindo comparações mais consistentes ao longo do tempo e a identificação de possíveis mudanças nos padrões climáticos locais.

Os intervalos de DCS e DCU que se iniciam em um ano e se estendem para o seguinte foram igualmente considerados, permitindo uma avaliação mais acurada da persistência dos extremos secos e úmidos. Os dados foram organizados e sistematizados em planilhas, a partir das quais foram obtidos os valores médios e máximos de DCS e DCU.

O Índice de DCS é definido como o maior número de dias consecutivos com precipitação diária inferior ou igual a 1 mm, considerando-se como "dia seco" qualquer dia cuja precipitação esteja abaixo desse limiar (Group Raindrops, 2002; Goler, 2020). Por sua vez, o Índice de DCU expressa o maior número de dias consecutivos com precipitação diária superior a 1 mm em um determinado período de análise, geralmente anual, sendo amplamente utilizado para caracterizar a persistência dos períodos chuvosos (Zhang *et al.*, 2012).

Entretanto, considerando as condições climáticas do Cariri/Curimataú e do Alto Sertão paraibano, marcadas por baixos índices de precipitação e elevados valores de evapotranspiração, adotou-se neste estudo o limiar de 3 mm para definição de precipitação efetiva. Essa escolha fundamentou-se na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) observada no estudo de Francisco e Santos (2017), no qual a ET<sub>o</sub> diária apresenta valores médios de, aproximadamente, 2,74 mm/dia a 3,01 mm/dia nas regiões do Cariri/Curimataú e do Alto Sertão. Então, volumes diários de precipitação iguais ou inferiores a 3 mm foram considerados desprezíveis, uma vez que tendem a ser integralmente perdidos para a atmosfera por meio do processo de evapotranspiração.

#### 6.1.1. Índice de Dias Consecutivos Secos (DCS)

O Índice de Dias Consecutivos Secos (DCS), também conhecido como *Consecutive Dry Days* (CDD), constitui um dos principais indicadores utilizados para a análise de extremos climáticos relacionados à precipitação. Esse índice é recomendado pela Comissão de Climatologia da OMM e foi desenvolvido pelo *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI)<sup>1</sup>, no âmbito do projeto *Climate Variability and Predictability* (CLIVAR/CCI)<sup>2</sup>.

A aplicação do Índice de DCS contribui para a caracterização da variabilidade e das mudanças climáticas ao longo do tempo. Esse índice é amplamente utilizado na análise da persistência de períodos secos, sendo particularmente relevante para o estudo das secas meteorológicas. Ao enfatizar a duração contínua da ausência de precipitação, o DCS possibilita avaliar a intensidade temporal das estiagens, fornecendo informações que não são plenamente captadas por indicadores baseados apenas em totais pluviométricos ou médias mensais.

Em análises mais específicas, como em contextos agrícolas, eventos extremos de DCS podem ser definidos por sequências de pelo menos 15 dias consecutivos sem chuva, devido ao risco de estresse hídrico nas culturas agrícolas (Bezdan *et al.*, 2024). Sob uma perspectiva estatística, essas sequências podem ser interpretadas como séries contínuas ao longo do tempo, nas quais qualquer ponto da série pode representar o início de um período seco.

A utilização de séries temporais contínuas representa uma ferramenta valiosa para o aprimoramento do monitoramento operacional da seca, ao possibilitar uma avaliação mais precisa da intensidade e dos impactos desse fenômeno sobre as dinâmicas entre os sistemas hídricos e as atividades humanas. Esse tipo de abordagem favorece a identificação de eventos críticos de escassez hídrica e a estimativa de suas probabilidades de ocorrência, reforçando a relevância da análise de períodos específicos ao longo do tempo, em detrimento da dependência exclusiva de médias climatológicas de longo prazo (Cavus *et al.*, 2022).

Assim, o Índice de DCS constitui uma ferramenta consistente para a análise da duração e da persistência dos períodos sem precipitação, permitindo uma caracterização mais precisa das secas meteorológicas, especialmente em regiões de elevada variabilidade climática, como o semiárido.

---

<sup>1</sup> Equipe de Especialistas em Detecção de Mudanças Climáticas e Índices

<sup>2</sup> Variabilidade e Previsibilidade Climática

Portanto, o Índice de DCS foi calculado a partir das séries diárias de precipitação dos municípios estudados, considerando-se como dia seco aquele com registro pluviométrico inferior ou igual a 3 mm. Para cada ano da série histórica, foram identificadas todas as sequências contínuas de dias que atenderam a esse critério, sendo contabilizado o número máximo de dias consecutivos em cada evento.

Posteriormente, para cada ano, foi selecionada a sequência com maior duração, caracterizando o valor máximo anual de DCS. Esse procedimento possibilitou identificar os períodos de estiagem mais prolongados ao longo da série, permitindo avaliar a variabilidade interanual da persistência dos episódios secos nos municípios analisados.

### 6.1.2. Índice de Dias Consecutivos Úmidos (DCU)

O Índice de Dias Consecutivos Úmidos (DCU), também conhecido como *Consecutive Wet Days* (CWD), assim como o Índice de DCS, constitui um dos principais indicadores utilizados para a análise de extremos climáticos relacionados à precipitação, sendo pela Comissão de Climatologia da OMM.

Diferentemente de índices voltados aos volumes acumulados ou às intensidades máximas de chuva, o DCU enfatiza a continuidade temporal da precipitação, permitindo avaliar a duração dos eventos úmidos e seus efeitos associados. Esse aspecto torna o índice particularmente relevante para a análise de impactos relacionados à saturação do solo, ao aumento do escoamento superficial, à recarga de reservatórios superficiais e subterrâneos, bem como à ocorrência de inundações, movimentos de massa e alterações no balanço hídrico (Zolina *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2012).

No contexto do semiárido paraibano, o Índice de DCU assume especial relevância, uma vez que o regime pluviométrico regional é marcado por elevada irregularidade temporal e espacial, com chuvas concentradas em curtos períodos do ano e longos intervalos de estiagem. Nessas condições, a duração dos episódios chuvosos torna-se um fator determinante para a dinâmica hidrológica, agrícola e ambiental, influenciando diretamente a infiltração da água no solo, a recarga hídrica e o desempenho das atividades agropecuárias, sobretudo aquelas dependentes da agricultura de sequeiro (Ab'Saber, 1974; Angelotti; Signor; Giongo, 2015).

Alterações nos padrões de DCU podem acarretar impactos socioambientais relevantes. A redução da persistência dos períodos chuvosos tende a intensificar o escoamento superficial e os processos erosivos, limitando a recarga hídrica e agravando

a vulnerabilidade à seca. Por outro lado, a ocorrência de chuvas concentradas em poucos dias consecutivos, embora possa resultar em excedentes hídricos pontuais, geralmente não é suficiente para mitigar a escassez estrutural de água no semiárido, podendo inclusive favorecer episódios de enxurradas e degradação ambiental em áreas suscetíveis, especialmente em ambientes com solos rasos ou uso inadequado da terra (Silva *et al.*, 2017; Bachmann, 2019).

Embora o Índice de DCU seja menos frequentemente empregado do que outros índices de extremos, como o Índice de DCS ou os índices de precipitação intensa, sua aplicação tem se mostrado fundamental em estudos de variabilidade climática, mudanças climáticas e impactos hidrológicos, sobretudo quando o interesse recai sobre a persistência dos eventos chuvosos. Assim, a análise do Índice de DCU associada a outros índices pluviométricos, contribui para uma compreensão mais abrangente dos padrões de precipitação e de seus efeitos sobre os sistemas naturais e socioeconômicos, subsidiando o planejamento da gestão dos recursos hídricos e a redução da vulnerabilidade socioambiental no semiárido paraibano (Zhang *et al.*, 2012; IPCC, 2021).

Assim, o Índice de DCU foi calculado a partir das séries diárias de precipitação dos municípios estudados, considerando-se como dia úmido aquele com registro pluviométrico superior a 3 mm<sup>3</sup>. Para cada ano da série histórica, foram identificadas todas as sequências contínuas de dias que atenderam a esse critério, sendo contabilizado o número máximo de dias consecutivos em cada evento.

Em seguida, para cada ano, foi selecionada a sequência com maior duração, caracterizando o valor máximo anual de DCU. Esse procedimento permitiu identificar os episódios de maior persistência pluviométrica ao longo da série, possibilitando a análise da variabilidade interanual dos eventos úmidos.

Nos casos em que foram observadas múltiplas sequências com o mesmo número máximo de DCU em diferentes datas dentro de um mesmo ano, adotou-se como critério adicional de seleção o acumulado total de precipitação. Dessa forma, entre as sequências com igual duração, foi considerada como evento representativo aquela que apresentou o

---

<sup>3</sup> Embora esse valor possa ser considerado relativamente baixo como limiar pluviométrico, sua utilização está associada à adaptação de metodologias amplamente empregadas em estudos climáticos, nas quais se considera dia seco aquele com precipitação inferior a 1 mm e dia úmido aquele com precipitação maior ou igual a 1 mm. Dessa forma, a adoção do limite de 3 mm buscou adequar esse critério às condições climáticas da área de estudo, mantendo a lógica metodológica utilizada em estudos de extremos climáticos.

maior volume pluviométrico, garantindo a padronização do procedimento analítico e a priorização dos episódios hidrológicamente mais expressivos.

## 6.2. RStudio

O RStudio constitui um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, na sigla em inglês) amplamente utilizado para análise estatística e processamento de dados na linguagem computacional R, proporcionando uma interface gráfica eficiente e funcional que facilita a elaboração de *scripts* e a interpretação de resultados (Baker, 2023). Dentre os diversos pacotes disponíveis na linguagem R, destaca-se o *trend*, especialmente desenvolvido para a aplicação de testes estatísticos voltados à detecção de tendências em séries temporais.

Neste estudo, o RStudio foi utilizado como ferramenta principal para a execução dos testes estatísticos de tendência, especificamente os de Mann-Kendall, Sen's Slope e Pettitt, que são amplamente recomendados na literatura para a análise de séries temporais hidrológicas. O teste de Mann-Kendall permite identificar a presença de uma tendência monotônica (crescente ou decrescente) ao longo do tempo. O estimador Sen's Slope foi utilizado para quantificar a magnitude da tendência observada, oferecendo uma estimativa robusta mesmo na presença de valores discrepantes. Enquanto o teste de Pettitt foi empregado para detectar pontos de mudança (*breakpoints*), sinalizando possíveis alterações estruturais nos dados.

Para a correta aplicação desses testes, foram considerados os critérios metodológicos estabelecidos por Zhang e Yang (2004), os quais detalham procedimentos e pressupostos necessários à utilização de métodos estatísticos em ambiente R, garantindo a robustez das análises.

A aplicação foi realizada sobre as séries históricas de DCS dos municípios de Picuí, Sousa e Sumé. Os testes estatísticos permitiram avaliar a existência de tendências significativas de aumento ou redução no número de DCS ao longo do período analisado, além de verificar a homogeneidade das séries pluviométricas e estimar a intensidade das tendências observadas. O nível de significância adotado nas análises foi de 95%, assegurando rigor estatístico na interpretação dos resultados.

## 6.3. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall, desenvolvido por Mann (1945) e posteriormente aprimorado por Kendall (1975), é uma ferramenta estatística não paramétrica amplamente utilizada para detectar tendências em séries temporais, especialmente em estudos climatológicos e hidrológicos. Sua principal aplicação consiste na verificação da existência de tendências em dados sequenciais, como séries históricas de precipitação (Nunes; Silva, 2022). Por não exigir que os dados sigam uma distribuição específica, o teste é classificado como não paramétrico, o que o torna robusto frente a distribuições não normais e adequado mesmo para séries mensais ou anuais, desde que completas e sem lacunas (Gois, 2017).

A OMM recomenda o uso desse teste em análises de longo prazo de variáveis climáticas, dada sua consistência estatística e aplicabilidade em diferentes escalas e regiões geográficas. Goossens e Berger (1986) apontam o método como particularmente eficaz na identificação de alterações em séries climatológicas, sendo considerado um dos mais adequados para essa finalidade. Além disso, segundo Back (2001), o teste de Mann-Kendall também permite uma estimativa aproximada do momento inicial em que determinada tendência começa a se manifestar na série analisada.

Neste trabalho, o teste foi aplicado às séries temporais do Índice de DCS, com o objetivo de identificar eventuais tendências positivas ou negativas ao longo do período considerado. Para a interpretação dos resultados, adotou-se o critério descrito por Gois (2017), segundo o qual a tendência é estatisticamente significativa quando o valor de  $p$  é inferior ao nível de significância ( $\alpha$ ), e estatisticamente insignificante quando o  $p$ -valor supera esse limite.

Desta forma, o teste foi aplicado nos dados da série temporal do número de DCS, observando se existem indícios de tendência positiva ou negativa nos dados. De acordo com Gois (2017), a tendência é considerada estatisticamente insignificante quando  $p$ -valor  $> \alpha$  e é significativa na série temporal quando  $p$ -valor  $< \alpha$ .

O estatístico  $S$  constitui o elemento central do teste de Mann-Kendall, sendo obtido a partir da soma dos sinais resultantes das comparações entre todos os pares possíveis de valores da série temporal. Cada comparação gera um valor de -1, 0 ou 1, a depender da relação entre os elementos analisados, refletindo, assim, a direção predominante das variações ao longo do tempo.

Então, para cálculo da estatística  $S$  de uma série temporal de  $n$  termos ( $1 < i < n$ ), em que  $n$  é o comprimento da série temporal, utiliza-se a Equação 1.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

i = posição inicial ou mais antiga na série temporal;

j = posição final ou mais recente na série temporal.

A função  $\text{sgn}$  é definida por:

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

A variância do estatístico  $S$ , denotada por  $\text{VAR}(S)$ , é obtida por meio da Equação 3 ou, quando há ocorrência de valores repetidos na série temporal, pela Equação 4. Nesta última,  $g$  representa o número de grupos com observações iguais, enquanto  $t_p$  corresponde à quantidade de dados existentes em cada grupo  $p$ .

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (\text{Equação 4})$$

A análise de tendência por meio do teste de Mann-Kendall baseia-se na interpretação do valor da estatística  $Z$  (Equação 5). A partir desse resultado, verifica-se a existência ou não de uma tendência estatisticamente significativa na série temporal. Esse valor é utilizado para decidir sobre a aceitação ou rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ), que pressupõe a ausência de tendência. Caso  $Z > 0$  a tendência é positiva, se  $Z < 0$  a tendência é negativa e se o valor de  $Z = 0$ , não há existência de tendência.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{para } S > 0 \\ 0 & \text{para } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (\text{Equação 5})$$

Além disso, a estatística  $\tau$  de Kendall pode ser derivada a partir do estatístico  $S$ , uma vez que há uma relação matemática entre ambos. Conforme descrito por Hipel e McLeod (1994), essa relação é expressa pelas Equações 6 e Equação 7. Na ausência de empates na série de dados, a formulação da estatística  $\tau$  simplifica-se, sendo representada pela Equação 8.

$$\tau = \frac{S}{D} \quad (\text{Equação 6})$$

$$D = \left[ \frac{1}{2}n(n-1) - \frac{1}{2}\sum_{p=1}^g tp(tp-1) \right]^{1/2} \left[ \frac{1}{2}n(n-1) \right]^{1/2} \quad (\text{Equação 7})$$

$$\tau = \frac{S}{\frac{n(n-1)}{2}} \quad (\text{Equação 8})$$

Dada uma série  $y_i$  composta por  $n$  termos ( $1 < i < n$ ), o teste consiste em realizar a soma das comparações em que cada valor  $y_i$  é confrontado com seus termos precedentes ( $j < i$ ), contabilizando os casos em que  $y_j < y_i$ . Para séries extensas, assume-se, sob a hipótese nula ( $H_0$ ) de ausência de tendência, que a estatística  $tn$  apresenta uma distribuição normal, com média e variância dada pela Equação 9 e Equação 10 (Penereiro; Meschiatti, 2018).

$$E(tn) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (\text{Equação 9})$$

$$VAR(tn) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (\text{Equação 10})$$

Assim, a avaliação da significância estatística de  $tn$  sob a hipótese nula é realizada por meio de um teste bilateral, no qual  $H_0$  pode ser rejeitada quando a estatística padronizada  $U(tn)$  assume valores elevados em módulo. Essa estatística é obtida conforme a Equação 11.

$$U(tn) = \frac{(tn - E(tn))}{\sqrt{VAR(tn)}} \quad (\text{Equação 11})$$

#### 6.4. Teste de Inclinação de Sen (Sen's Slope)

Embora o teste de Mann-Kendall seja eficiente na detecção de tendências monotônicas em séries temporais, ele não fornece uma estimativa direta da magnitude dessa tendência. Para suprir essa limitação, aplica-se o estimador da inclinação de Sen (*Sen's slope estimator*), desde que a hipótese nula de ausência de tendência ( $H_0$ ) seja rejeitada. Desenvolvido por Sen (1968) e posteriormente aperfeiçoado por Hirsch e Slack (1984), esse método permite quantificar a taxa de variação ao longo do tempo, estimando a inclinação de uma tendência linear a partir de pares ordenados da série temporal.

A abordagem consiste em calcular a mediana de todas as inclinações possíveis entre os pares de observações, o que assegura robustez contra valores extremos e distribuições não normais dos dados (Raymaekers; Leuven, 2023). O resultado representa uma estimativa não paramétrica da taxa de crescimento ou declínio da variável analisada, sendo especialmente útil em estudos ambientais e climatológicos.

A equação empregada para essa estimativa (Equação 12) deriva diretamente da equação geral de uma linha reta, permitindo a representação da tendência de maneira quantitativa e interpretável. A série temporal, que pode ser crescente ou decrescente, é uma função do tempo representada por  $f(t)$ , que representa o valor da variável no tempo  $t$ .  $B$  é uma constante e  $Se$  é o coeficiente angular, ou seja, a inclinação da reta que expressa a taxa de variação da tendência ao longo do tempo.

$$f(t) = St + B \quad (\text{Equação 12})$$

O valor de  $Se$  pode ser obtido pela Equação 13, que calcula todas as inclinações possíveis entre pares de observações da série temporal, em que  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $x_j$  e  $x_i$  são os valores associados a  $x$  nos instantes  $j$  e  $i$ , respectivamente, sendo  $j > i$ . O número total de pares observacionais distintos é representado por  $N$ , sendo determinado conforme a Equação 14. Já o estimador da inclinação é obtido pela mediana de todos os valores de  $Se$ , de acordo com o procedimento descrito na Equação 15.

$$Se = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (\text{Equação 13})$$

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (\text{Equação 14})$$

$$S_{med} = \begin{cases} S_{[(N+1)/2]}, & \text{se } N \text{ é ímpar} \\ \frac{S_{(N/2)} + S_{(N/2+1)}}{2}, & \text{se } N \text{ é par} \end{cases} \quad (\text{Equação 15})$$

Dessa forma, valores positivos de  $S_{med}$  indicam tendência crescente, enquanto valores negativos apontam tendência decrescente. Quando  $S_{med}=0$  infere-se ausência de tendência. O intervalo de confiança do estimador é determinado conforme a Equação 16, na qual  $Z_{1-\infty/2}$  corresponde ao quantil da distribuição normal padrão. Os limites inferior ( $S_{min}$ ) e superior ( $S_{max}$ ) são dados pela Equação 17 e Equação 18, respectivamente. Quando ambos os limites apresentam o mesmo sinal, conclui-se que a inclinação  $S_{med}$  é estatisticamente diferente de zero.

$$C_{\infty} = Z_{1-\infty/2} \sqrt{Var(S)} \quad (\text{Equação 16})$$

$$S_{min} = S_{(M_1)} \quad (\text{Equação 17})$$

$$S_{max} = S_{(M_2+1)} \quad (\text{Equação 18})$$

### 6.5. Teste de Pettitt

O teste de homogeneidade de Pettitt, proposto por Pettitt (1979), é um método estatístico não paramétrico amplamente utilizado para detectar a ocorrência de mudanças bruscas nas médias de séries temporais. Esse teste é especialmente útil em estudos hidroclimatológicos, onde a identificação de rupturas ou descontinuidades em dados históricos é fundamental para a compreensão de alterações nas condições climáticas e hidrológicas (Mallakpour; Villarini, 2016).

O principal atrativo do teste de Pettitt é sua independência em relação à distribuição dos dados, o que o torna aplicável a uma ampla variedade de séries temporais. O procedimento baseia-se em uma adaptação do teste de Mann-Whitney, comparando duas subamostras extraídas da série temporal, antes e depois de um possível ponto de

mudança. A estatística do teste contabiliza quantas vezes os elementos de uma subamostra são superiores aos da outra, identificando assim o momento em que a distribuição dos dados apresenta uma alteração significativa (Xie *et al.*, 2014).

O ponto de mudança determinado pelo teste indica a posição mais provável de uma descontinuidade nas médias da série, sendo interpretado como o início de uma nova tendência. A robustez do método, entretanto, pode ser afetada por variáveis como o tamanho da amostra, a intensidade da mudança e a localização do ponto de ruptura ao longo da série. Ainda assim, por não depender de pressupostos paramétricos, o teste de Pettitt continua sendo uma ferramenta valiosa na análise da homogeneidade de séries históricas, permitindo identificar se os dados pertencem a uma mesma população ou se houve uma alteração estrutural ao longo do tempo (Uliana *et al.*, 2015).

O teste tem como objetivo avaliar se duas amostras independentes provêm de uma mesma população. Para isso, a estatística empregada baseia-se na comparação entre os elementos de ambas as amostras, contabilizando o número de ocorrências em que os valores de uma superam os da outra. A estatística  $U_{t,T}$  corresponde, portanto, ao total de vezes em que um elemento da primeira amostra apresenta valor superior ao elemento correspondente da segunda (GOIS, 2017). A estatística considera todos os valores de  $t = 2, \dots, T$  e  $1 \leq t \leq T$ , e pode ser calculada a partir das Equações 19 e Equação 20.

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(x_t - x_j) \quad (\text{Equação 19})$$

Em que:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (\text{Equação 20})$$

O valor absoluto máximo de  $U_{t,T}$ , que corresponde a estatística  $k(t)$  do teste de Pettitt, é confirmada como o ano em que ocorre a mudança e calcula-se a partir da Equação 21:

$$k(t) = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (\text{Equação 21})$$

Além disso, a estatística  $k(t)$  permite identificar o ponto em que ocorre uma mudança abrupta na média de uma série temporal. Assim, por meio das Equações 22 e

23, realiza-se o cálculo aproximado de sua significância, sendo a primeira aplicada a hipóteses unilaterais e a segunda a hipóteses bilaterais. Ademais,  $t$  corresponde ao ponto de mudança abrupta, definido pelo valor máximo de  $k(t)$  e para realizar os cálculos dos valores críticos de  $k$  utiliza-se a Equação 24.

$$p = \exp \left\{ \frac{-6(k^+)^2}{(T^3 - T^2)} \right\} \quad (\text{Equação 22})$$

$$p = 2 \exp \left\{ \frac{-6(k^+)^2}{(T^3 - T^2)} \right\} \quad (\text{Equação 23})$$

$$k_{crit} = \pm \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{p}{2}\right)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (\text{Equação 24})$$

## 6.6. Índice de Vulnerabilidade

Para a avaliação da vulnerabilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, foi adotada a metodologia de construção de índice baseada em um conjunto de indicadores adaptados neste estudo, apresentada no Quadro 2, tendo como referência o modelo proposto por Rosendo (2014), derivado da abordagem original de Bhattacharya e Dass (2007), no âmbito do projeto BASIC, desenvolvido na Índia. A escolha por essa abordagem se justificou pela sua robustez teórica e pela capacidade de adaptação a diferentes realidades socioambientais, especialmente no que diz respeito a contextos de escassez hídrica e precariedade socioeconômica.

Quadro 3 - Estrutura de indicadores de vulnerabilidade à seca, adaptada de Bhattacharya e Dass (2007).

		<b>Indicador<sup>4</sup></b>	<b>Fonte</b>	<b>Ano</b>	
<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Características do Evento</b>	Índice de Anomalia de Chuva (RAI);	AESA	1994-2023	
		Índice de Aridez;	AESA	1994-2023	
	<b>Exposição da População</b>	Força de trabalho que depende da agropecuária (%);	SIDRA	2017/2022	
		População rural (%);	SIDRA	2022	
	<b>Exposição</b>	<b>Exposição da Atividade</b>	Estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada (%);	SIDRA	2017
			Lavouras permanentes (%);	SIDRA	2017
			Lavouras temporárias (%);	SIDRA	2017
			Pastagens naturais (%);	SIDRA	2017
		Pastagem plantada degradada (%);	SIDRA	2017	
		Pastagem plantada em boas condições (%);	SIDRA	2017	
		Exposição das culturas agropecuárias;	SIDRA	2017	
		Exposição dos rebanhos;	SIDRA/EMBRAPA	2017/2021	
	<b>Sensibilidade</b>	<b>Características Socioeconômicas</b>	Rendimento nominal médio <i>per capita</i> (R\$);	IBGE	2022
			Índice de Inequidade (Gini);	IPEA	2010
			Força de trabalho não ocupada (%);	SIDRA	2022
		<b>Características Tecnológicas</b>	Volume de água atingindo nos reservatórios ao fim do Quadrimestre chuvoso, no ano de referência (%);	AESA	2024
Propriedades que utilizam defensivos agrícolas (%);			SIDRA	2017	
<b>Características das Atividades</b>	Propriedades que usam mecanização agrícola (%);	SIDRA	2017		
<b>Capacidade Adaptativa</b>	<b>Capacidade Humana</b>	Áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para pecuária e agricultura (%);	SIDRA	2017	
		Taxa de alfabetização (%);	SIDRA	2022	
		População que recebe algum tipo de Benefício do MPS (%);	MPS	2023	
		Índice de Desenvolvimento Humano Municipal;	IPEA	2010	
	Porcentagem do PIB investido em Educação e Cultura (%);	IPEADATA	2023		
	<b>Governabilidade</b>	População atendida por Programas Sociais no município (%);	IPEADATA	2016/2024	
Produto Interno Bruto Municipal per capita (R\$);		IBGE	2022		
<b>Meios de Vida</b>	Força de trabalho que independe da agropecuária (%).	SIDRA	2017		

Fonte: Rosendo (2014) – Adaptado pela autora, 2025.

Embora originalmente desenvolvidos para o contexto indiano, Rosendo (2014) adaptou os indicadores propostos por Bhattacharya e Dass (2007), de modo a contemplar as especificidades dos Sistemas Socioecológicos (SSE) do semiárido brasileiro, o que permite uma análise mais fidedigna da vulnerabilidade local.

<sup>4</sup> Para os indicadores Índice de Inequidade (Gini) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), optou-se por manter os últimos valores divulgados, referentes ao ano de 2010, devido à ausência de atualizações para os anos mais recentes.

Assim, a perspectiva dos SSE orienta não apenas o embasamento teórico, mas também a estrutura metodológica deste estudo, desde a seleção das variáveis até a interpretação dos resultados. Os indicadores empregados foram organizados de modo a representar os diferentes componentes do SSE do semiárido paraibano: a dimensão ambiental, avaliada por meio do Índice de Anomalia de Chuva e do Índice de Aridez, e a dimensão social e dimensão econômica, representadas por indicadores de Exposição da População e das atividades produtivas, sensibilidade socioeconômica e tecnológica e capacidade adaptativa, associada à capacidade humana, à governabilidade e aos meios de vida.

A análise integrada dessas dimensões permite compreender que a vulnerabilidade dos municípios não decorre apenas das condições climáticas, mas, sobretudo, da forma como essas condições interagem com as características sociais e com a capacidade local de resposta e adaptação, evidenciando as inter-relações entre clima, sociedade e infraestrutura que caracterizam esses territórios como SSE sensíveis às variações hidrometeorológicas do semiárido.

Destaca-se que, devido às mudanças nos instrumentos de coleta, na organização dos questionários e na disponibilidade das informações entre os Censos Agropecuários e Demográficos de 2006/2010 e 2017/2022, foi necessário ajustar o conjunto de indicadores utilizado por Rosendo (2014). Essa adequação foi realizada de modo a preservar a estrutura conceitual do modelo, mantendo suas dimensões analíticas e a lógica da avaliação da vulnerabilidade, ao mesmo tempo em que se garantiu a comparabilidade temporal e a consistência metodológica da análise. Dessa forma, os indicadores que não apresentaram equivalência direta nos bancos de dados mais recentes foram excluídos da comparação, evitando possíveis vieses ou distorções nos resultados. As tabelas extraídas do SIDRA/IBGE utilizadas neste processo encontram-se apresentadas no Anexo A.

Os indicadores utilizados neste estudo contemplam três dimensões inter-relacionadas da vulnerabilidade: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa; conforme o referencial conceitual amplamente utilizado pelo IPCC.

A exposição foi analisada por meio de variáveis que refletem a intensidade, frequência e duração da seca, bem como suas interações com os efeitos das mudanças climáticas. Ela está subdividida em: Características do Evento (Índice de Anomalia de Chuva, Índice de Aridez), Exposição da População (dependência da agropecuária, população rural, agricultura irrigada) e Exposição da Atividade (pastagens, cultivos, uso do solo). Bhattacharya e Dass (2007) destacam que a exposição envolve uma

multiplicidade de fatores interligados, capazes de tornar determinadas áreas e populações mais suscetíveis aos impactos climáticos.

A sensibilidade, por sua vez, está representada por indicadores que expressam a dependência direta da população em relação aos recursos ambientais e à variabilidade climática, além da capacidade limitada de absorver choques ambientais. Ela abrange: características socioeconômicas (renda média, Índice de Gini, força de trabalho não ocupada), características tecnológicas (infraestrutura hídrica e de produção) e características das atividades (áreas mecanizadas, tipos de uso da terra, analfabetismo). Segundo Bhattacharya e Dass (2007), a sensibilidade reflete os efeitos provocados por eventos extremos, os quais podem comprometer o bem-estar social, sobretudo em comunidades com baixa resiliência.

Já a capacidade adaptativa está avaliada com base em fatores socioeconômicos e institucionais, como acesso à informação, infraestrutura, políticas públicas, organização social e níveis de renda, que influenciam diretamente a habilidade dos sistemas e comunidades de lidar com eventos adversos. Esse indicador está organizado em três dimensões principais: condições humanas (benefícios sociais, IDHM), governabilidade (investimento em educação, programas sociais, Produto Interno Bruto (PIB)) e meios de vida (dependência ou independência da agropecuária).

O cálculo do Índice de Vulnerabilidade foi realizado a partir de diferentes formas de agregação estatística dos indicadores. Foi utilizada a média aritmética simples para variáveis de comportamento homogêneo e representatividade direta, a média geométrica para atenuar os efeitos de variáveis com diferentes escalas e magnitudes, e a média aritmética ponderada nos casos em que for necessário atribuir pesos diferenciados a determinados indicadores mais complexos ou com maior influência sobre o sistema analisado.

Considerando que os indicadores utilizados na composição do Índice de Vulnerabilidade apresentam diferentes unidades de medida e escalas numéricas, foi necessário aplicar um processo de normalização. Nesse procedimento, a normalização foi realizada diretamente sobre os valores de cada indicador, e não a partir de uma comparação relativa entre os municípios analisados. O objetivo foi padronizar os dados em uma mesma escala, permitindo a comparação entre variáveis heterogêneas e evitando que aquelas com valores absolutos mais elevados exerçam influência desproporcional sobre os resultados. Com a normalização, buscou-se assegurar que todos os indicadores

contribuam de forma equilibrada para a análise final, refletindo de maneira mais fiel a realidade dos municípios avaliados.

Além da padronização, foi necessário estabelecer um critério para tratar a influência dos indicadores sobre a vulnerabilidade. Para os casos em que o aumento do valor do indicador representava maior vulnerabilidade, os dados foram mantidos tal como normalizados. Já para os indicadores cuja elevação indicava redução da vulnerabilidade, utilizou-se a Equação 25, de forma a ajustar sua contribuição no sentido correto da análise.

$$\text{Indicador ajustado} = 1 - \text{Indicador normalizado} \quad (\text{Equação 25})$$

Essa abordagem metodológica permitiu uma avaliação integrada e comparativa da vulnerabilidade à seca entre os três municípios estudados, possibilitando a identificação de áreas mais frágeis e subsidiando ações de mitigação e adaptação mais eficazes.

#### 6.6.1. Indicadores de Exposição

##### **Índice de Anomalia de Chuva (IAC):**

O Índice de Anomalia da Chuva (IAC), originalmente proposto por Rooy (1965) e posteriormente adaptado por Freitas (2004), é um instrumento utilizado para classificar os períodos pluviométricos em secos ou úmidos, com base na análise das anomalias de precipitação em relação à média histórica. Esse índice avalia a intensidade das variações pluviométricas, permitindo identificar desvios em relação ao comportamento considerado normal, o que contribui para a compreensão dos impactos dessas oscilações no clima regional e na produção agrícola (Rocha, 2021).

A aplicação do IAC é fundamental para o estudo da variabilidade das chuvas em diferentes localidades, sendo calculado a partir de séries históricas de precipitação. Com isso, é possível categorizar determinados anos como mais secos ou mais úmidos, de acordo com a magnitude das anomalias observadas (Maniçoba, 2017). Trata-se, portanto, de uma ferramenta importante para o monitoramento climático e para o planejamento de estratégias de mitigação e adaptação em regiões suscetíveis à irregularidade das chuvas.

O IAC é calculado com base em fórmulas que consideram a diferença entre a precipitação anual observada e os valores históricos da série. A equação utilizada varia conforme o tipo de anomalia. Para anomalias positivas, em que a precipitação observada é superior a média histórica, utiliza-se a Equação 26:

$$IAC = 3x \frac{(Po - P'méd)}{(P'máx - P'mín)} \quad (\text{Equação 26})$$

Mas, caso a anomalia seja negativa, ou seja, a precipitação observada é inferior a média histórica, utiliza-se a Equação 27:

$$IAC = -3x \frac{(Po - P'méd)}{(P'máx - P'mín)} \quad (\text{Equação 27})$$

Em que:

IAC = Índice de Anomalia de Chuva;

Po = precipitação anual atual;

P'méd = precipitação média anual da série histórica;

P'máx = médias das dez maiores precipitações anuais da série histórica;

P'mín = média das dez menores precipitações anuais da série histórica.

### **Índice de Aridez:**

O Índice de Aridez (IA) representa uma medida essencial para avaliar o grau de seca e a disponibilidade hídrica em uma determinada localidade. Utilizado com frequência em análises ambientais, geográficas e ecológicas, esse índice expressa a relação entre os volumes de precipitação e a evapotranspiração potencial, que corresponde à quantidade de água que poderia ser perdida por evaporação no solo e transpiração vegetal, caso estivesse plenamente disponível. Esse indicador é relevante para a compreensão dos efeitos das alterações climáticas, para a identificação de áreas suscetíveis à desertificação e para o planejamento sustentável do uso dos recursos hídricos.

Os dados do Índice de Aridez para os três municípios da área em estudo foram obtidos a partir do “Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação

da seca”, desenvolvido no âmbito do Plano Nacional de Controle da Desertificação (PAN-BRASIL). Esse programa calculou os Índices de Aridez para todos os municípios do NEB, seguindo a metodologia recomendada pelas Nações Unidas (UNEP, 1992).

O Índice de Aridez da UNEP (IA) é definido pela razão entre a precipitação anual total e a evapotranspiração potencial anual, conforme a Equação 28:

$$IA = \frac{P}{PET} \quad (\text{Equação 28})$$

Em que:

IA = Índice de Aridez;

P = precipitação anual;

PET = evapotranspiração potencial anual.

As classes de tipos climáticos definidas pelo Índice de Aridez da UNEP permitem categorizar regiões de acordo com o grau de disponibilidade hídrica. Essa classificação é amplamente utilizada em estudos sobre desertificação e mudanças climáticas, pois identifica áreas com diferentes níveis de estresse hídrico. Os limites definidos são os seguintes (Quadro 3):

Quadro 4 - Classes do Índice de Aridez segundo a UNEP.

<b>Intervalos do Índice</b>	<b>Estado de Aridez</b>
$IA \geq 1$	Úmido
$0,65 \leq IA < 1$	Sub-úmido úmido
$0,50 \leq IA < 0,65$	Sub-úmido seco
$0,20 \leq IA < 0,50$	Semi-árido
$0,05 \leq IA < 0,20$	Árido
$IA < 0,05$	Hiper-árido

Fonte: UNEP (1992).

### **Força de trabalho que depende da agropecuária (%):**

A força de trabalho que depende da agropecuária foi estimada com base nos dados do IBGE, referentes ao censo de 2022 e ao censo agropecuário de 2017, por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), “Tabela 10253 e Tabela 6884”. Esse indicador é utilizado como um dos componentes sociais na avaliação da vulnerabilidade à seca, uma vez que municípios com maior dependência do setor

agropecuário tendem a apresentar maior sensibilidade aos impactos das variações climáticas.

O cálculo expressa a proporção de pessoas ocupadas no setor agropecuário em relação à População Economicamente Ativa (PEA) de cada município. A fórmula utilizada está apresentada a seguir (Equação 29):

$$FA(\%) = \frac{EmpAgrox100}{PEA} \quad (\text{Equação 29})$$

Em que:

FA (%) = percentual da força de trabalho ocupada na agropecuária;

EmpAgro = população empregada na agropecuária no município (em número de habitantes);

PEA = População Economicamente Ativa do município.

#### **População rural (%):**

A porcentagem da população rural de cada município foi calculada com base nos dados do Censo Demográfico de 2022, disponibilizados pelo IBGE, por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), “Tabela 9923”. O cálculo expressa a proporção de moradores residentes em áreas rurais em relação à população total do município.

Esse indicador é relevante para a avaliação da vulnerabilidade social, uma vez que populações residentes em áreas rurais, especialmente no semiárido, costumam apresentar maior exposição aos efeitos adversos da seca, devido a fatores como menor acesso à infraestrutura, serviços públicos e oportunidades econômicas diversificadas. A fórmula utilizada está descrita na Equação 30.

$$PopRural(\%) = \frac{PopRuralx100}{PopTotal} \quad (\text{Equação 30})$$

Em que:

PopRural (%) = população rural expressa em percentual;

PopRural = número de pessoas residente em áreas rurais;

PopTotal = população total do município (número de pessoas).

### **Estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada (%);**

A proporção de estabelecimentos agropecuários que utilizam sistemas de irrigação foi obtida a partir dos dados do Censo Agropecuário de 2017, disponibilizados pelo IBGE por meio do sistema SIDRA, sendo este o levantamento mais recente disponível. Para o cálculo, foram consideradas as informações da “Tabelas 6753 (quantitativo total de estabelecimentos agropecuários) e Tabela 6859 (número de estabelecimentos que fazem uso de irrigação)”.

Esse indicador é considerado um parâmetro importante para avaliar a resiliência da atividade agropecuária frente à variabilidade climática, especialmente em regiões sujeitas à ocorrência de secas, já que a adoção de técnicas de irrigação pode representar uma estratégia eficaz de adaptação e mitigação dos impactos da escassez hídrica. A estimativa percentual foi obtida a partir da seguinte expressão matemática (Equação 31):

$$EIA(\%) = \frac{EIAx100}{TEA} \quad (\text{Equação 31})$$

Em que:

EIA (%) = porcentagem de estabelecimentos agropecuários que utilizam irrigação;

EIA = corresponde ao número de estabelecimentos agropecuários que utilizam irrigação;

TEA = representa o total de estabelecimentos agropecuários no município.

### **Lavouras permanentes (%):**

A proporção da área destinada a lavouras permanentes nos estabelecimentos agropecuários foi obtida a partir dos dados do Censo Agropecuário de 2017, disponibilizados pelo IBGE por meio do SIDRA, com base nas informações contidas na “Tabela 6883”.

Os valores utilizados referem-se ao percentual informado diretamente pelo sistema, considerando os municípios de Picuí, Sousa e Sumé, em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários. Esse indicador auxilia na compreensão da configuração do uso da terra e da estrutura produtiva municipal, sendo útil para identificar o nível de permanência dos cultivos e a dependência de culturas mais vulneráveis à escassez hídrica.

#### **Lavouras temporárias (%):**

A porcentagem da área destinada a lavouras temporárias nos estabelecimentos agropecuários foi obtida a partir dos dados do Censo Agropecuário de 2017, disponibilizados pelo IBGE, por meio do SIDRA, com base na “Tabela 6883”.

Foram utilizados os valores fornecidos diretamente em formato percentual, referentes aos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, considerando a área total dos estabelecimentos agropecuários. Esse indicador fornece subsídios para a análise do padrão de uso do solo agrícola, permitindo avaliar a dependência de cultivos sazonais, geralmente mais suscetíveis à variabilidade climática. A predominância de lavouras temporárias pode indicar maior vulnerabilidade do setor produtivo aos impactos de eventos de seca prolongada.

#### **Pastagens naturais (%); Pastagem plantada degradada (%); Pastagem plantada em boas condições (%):**

A porcentagem das áreas de pastagens naturais, pastagens plantadas degradadas e pastagens plantadas em boas condições nos estabelecimentos agropecuários foi obtida a partir dos dados disponibilizados pelo IBGE, por meio do SIDRA, referentes à “Tabela 6883” do Censo Agropecuário de 2017. Os dados percentuais foram extraídos para os municípios de Picuí, Sousa e Sumé, por meio da opção de visualização disponível na plataforma.

A análise da distribuição dessas categorias de pastagem é essencial para a compreensão da estrutura fundiária e da dinâmica produtiva dos sistemas pecuários locais. No âmbito da avaliação da vulnerabilidade agropecuária, esses indicadores assumem papel relevante por refletirem diferentes níveis de conservação do solo e de resiliência frente a eventos climáticos adversos.

As pastagens naturais, geralmente associadas ao uso extensivo com vegetação nativa, apresentam menor capacidade de suporte em situações de seca prolongada, evidenciando maior fragilidade ambiental. Em contrapartida, as pastagens plantadas degradadas sinalizam práticas de manejo inadequadas, que resultam em baixa fertilidade do solo e reduzem a eficiência produtiva, além de intensificarem a suscetibilidade à degradação. Por fim, as pastagens plantadas em boas condições representam áreas sob manejo mais sustentável, com maior estabilidade ecológica e produtiva, favorecendo a adaptação às variações climáticas (Costa, s.d.). Dessa forma, a caracterização dessas três classes permite identificar áreas com maior risco de impacto frente à escassez hídrica, subsidiando estratégias de mitigação e políticas públicas voltadas à gestão sustentável dos recursos agropecuários.

### **Exposição das culturas agropecuária:**

A estimativa da quantidade de toneladas produzidas pelos municípios em estudo baseou-se nos dados do Censo Agropecuário de 2017, disponibilizados pelo IBGE, por meio do SIDRA, especificamente na “Tabela 6957”. Para a formulação do respectivo indicador, adotou-se a aplicação de médias ponderadas, de modo a incorporar a heterogeneidade das culturas agrícolas, tanto em relação ao volume total produzido quanto às distintas demandas hídricas específicas associadas a cada lavoura temporária. Com isso, foram atribuídos dois pesos principais: um referente à quantidade produzida (em toneladas) e outro correspondente à necessidade hídrica por unidade de produção. O peso associado à quantidade produzida foi normalizado, de modo a situar os valores entre 0 e 1. Assim, para cada cultura agrícola, o peso da quantidade produzida é calculado com a Equação 32.

$$P_{qi} = \frac{Q_i - Q_{mín}}{Q_{máx} - Q_{mín}} \quad (\text{Equação 32})$$

Em que:

$P_{qi}$  = peso normalizado da quantidade produzida;

$Q_i$  = quantidade produzida da cultura  $i$  no município (em toneladas);

$Q_{mín}$  = menor quantidade produzida entre as culturas no município (em toneladas);

$Q_{\text{máx}}$  = maior quantidade produzida entre as culturas no município (em toneladas).

Esse procedimento permite que as culturas com maior volume de produção exerçam maior influência na composição do indicador, ao mesmo tempo em que se preserva a proporcionalidade entre os valores observados. A ponderação adicional pela necessidade hídrica será incorporada na etapa subsequente, com o objetivo de capturar a sensibilidade da produção agrícola frente à disponibilidade de água, fator essencial na avaliação da vulnerabilidade agropecuária à seca.

A atribuição de pesos relacionados à demanda específica de água na produção agrícola fundamentou-se nos dados apresentados por Hoekstra e Hung (2002), os quais fornecem estimativas médias do volume de água necessário por tonelada produzida ( $\text{m}^3/\text{t}$ ) para diversas culturas agrícolas. Essas informações possibilitam a incorporação de um parâmetro técnico que considera a variabilidade na exigência hídrica entre os diferentes cultivos, contribuindo para uma avaliação mais precisa da exposição das atividades agropecuárias à escassez de recursos hídricos.

Com o objetivo de garantir a comparabilidade entre as culturas, os valores de demanda hídrica foram normalizados por meio da seguinte Equação 33:

$$P_{di} = \frac{D_i - D_{\text{mín}}}{D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}} \quad (\text{Equação 33})$$

Em que:

$P_{di}$  = peso normalizado da demanda específica de água;

$D_i$  = demanda hídrica da cultura  $i$ , conforme Hoekstra e Hung (2002), em  $\text{m}^3$  por tonelada;

$D_{\text{mín}}$  = menor valor de demanda específica de água observado entre as culturas consideradas;

$D_{\text{máx}}$  = maior valor de demanda específica de água observado.

Após a obtenção dos dois pesos normalizados, referentes à produção e à demanda hídrica, foi calculada uma média ponderada para compor o indicador de exposição das culturas agrícolas à escassez hídrica. Esse procedimento permite considerar, de forma

equilibrada, tanto a representatividade das culturas na matriz produtiva local quanto sua sensibilidade à disponibilidade hídrica, fornecendo um indicador robusto para avaliação da exposição do setor agropecuário aos eventos de seca. O cálculo é feito utilizando a Equação 34.

$$ExpC = \frac{[(QNi \times Pqi) + (QNi \times Pdi) \dots]^5}{(\sum Pqi + \sum Pdi)} \quad (\text{Equação 34})$$

Em que:

ExpC = exposição total das culturas agrícolas no município, normalizada entre 0 e 1;

QNi = Quantidade normalizada da cultura i;

Pqi = peso da quantidade produzida da cultura i (normalizado);

Pdi = peso da demanda de água da cultura i (normalizado);

$\sum Pq$  = soma dos pesos de quantidade de todas as culturas;

$\sum Pd$  = soma dos pesos de demanda de água de todas as culturas.

### **Exposição dos rebanhos:**

As informações referentes à quantidade de animais presentes nos municípios analisados foram extraídas da “Tabela 6908” do Censo Agropecuário de 2017, disponibilizada pelo IBGE por meio do SIDRA. Essa mesma tabela apresenta a classificação do rebanho segundo o tipo de agricultura em que está inserido, distinguindo entre produção familiar, não familiar e casos de local não informado.

Para a construção do indicador correspondente, optou-se pela aplicação de médias ponderadas, considerando a complexidade inerente à diferenciação entre os rebanhos em relação a três dimensões principais:

- (i) O porte do rebanho (número de cabeças);
- (ii) A sensibilidade de cada tipo de criação aos efeitos da seca;
- (iii) O tipo de sistema produtivo (agricultura familiar, não familiar ou indefinida).

---

<sup>5</sup> Todas as culturas e seus respectivos pesos devem fazer parte deste cálculo.

Assim, foram atribuídos três pesos distintos: um referente à quantidade de cabeças por município, outro à demanda hídrica específica de cada categoria animal e o terceiro ao tipo de agricultura em que o rebanho está inserido.

Com relação ao último critério, a ponderação adotada foi: peso 2 para a agricultura familiar, em razão de sua maior vulnerabilidade socioeconômica e peso 1 para a agricultura não familiar, que, em geral, dispõe de maior capacidade de resposta e adaptação frente à escassez hídrica. Essa abordagem visa refletir não apenas a dimensão produtiva, mas também os fatores estruturais que condicionam a resiliência dos sistemas agropecuários frente a eventos de seca.

Para a definição dos pesos associados ao tamanho do rebanho nos municípios em estudo, foi empregada uma técnica de normalização linear, com o objetivo de uniformizar os valores e situá-los em uma escala entre 0 e 1. Essa normalização permite comparar proporcionalmente o porte dos rebanhos nos diferentes municípios, assegurando que sua representatividade seja adequadamente ponderada na composição do indicador final. De tal forma, abordagem evita distorções decorrentes de diferenças absolutas de escala e contribui para uma análise mais equilibrada da exposição do setor pecuário às condições de seca. Para isso foi utilizada a Equação 35.

$$P_{qc} = \frac{C_i - C_{mín}}{C_{máx} - C_{mín}} \quad (\text{Equação 35})$$

Em que:

$P_{qc}$  = peso normalizado da quantidade de cabeças de gado;

$C_i$  = número de cabeças do rebanho  $i$  no município analisado;

$C_{mín}$  = menor número de cabeças registrado entre os rebanhos considerados;

$C_{máx}$  = maior número de cabeças registrado entre os rebanhos considerados.

Para a definição do peso associado à demanda específica de água dos rebanhos, foram utilizadas como referência as estimativas apresentadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), no livro “Produção animal e recursos hídricos: uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo” (EMBRAPA, 2021). Essas referências possibilitaram a atribuição de pesos diferenciados conforme o tipo de rebanho, considerando sua demanda hídrica média individual, de modo a refletir com maior precisão a exposição das atividades pecuárias à escassez de

recursos hídricos. A normalização desses valores foi realizada com o objetivo de integrá-los à média ponderada final do indicador de exposição pecuária à seca.

Considerando a necessidade de padronização dos valores referentes à demanda específica de água dos animais, procedeu-se à normalização dos dados por meio de uma fórmula que permite situar os valores em uma escala de 0 a 1, conforme descrito na Equação 36 a seguir:

$$Pda = \frac{Di - Dmín}{Dmáx - Dmín} \quad (\text{Equação 36})$$

Em que:

Pda = peso normalizado da demanda específica de água do animal;

Di = demanda específica de água da espécie animal i, expressa em litros por dia (L/dia), conforme estimativas da EMBRAPA (2021);

Dmín = menor valor de demanda hídrica observado entre as espécies analisadas nos municípios;

Dmáx = maior valor de demanda hídrica observado entre as espécies analisadas nos municípios.

Com a obtenção dos pesos referentes à quantidade de animais, ao tipo de agricultura e à demanda hídrica específica, foi possível calcular o valor final do indicador de exposição pecuária à seca por meio de uma média ponderada, conforme a Equação 37. Essa metodologia possibilita uma avaliação mais robusta da vulnerabilidade pecuária frente à escassez hídrica, ao integrar diferentes dimensões de exposição (produtiva, hídrica e socioeconômica) em um único indicador composto, ajustado às especificidades locais dos municípios analisados.

$$Exp = \frac{[(QRi \times Pqc) + (QRi \times Pta) + (QRi \times Pda) \dots]^6}{(\Sigma Pqc + \Sigma Pta + \Sigma Pda)} \quad (\text{Equação 37})$$

Em que:

ExpP = exposição total do rebanho no município, normalizada entre 0 e 1;

QRi = quantidade do rebanho, normalizada;

---

<sup>6</sup> Todos os tipos de animais e seus respectivos pesos devem fazer parte deste cálculo.

$P_{qc}$  = peso da quantidade de cabeças, normalizado;

$P_{Ta}$  = peso atribuído ao tipo de agricultura (familiar ou não familiar), normalizado;

$P_{da}$  = peso normalizado da demanda específica de água do animal;

$\sum P_{qc}$  = somatórios dos pesos da quantidade de cabeças;

$\sum P_{Ta}$  = somatórios dos pesos atribuído ao tipo de agricultura;

$\sum P_{da}$  = somatórios dos pesos da demanda específica de água do animal.

### 6.6.2. *Indicadores de Sensibilidade*

#### **Rendimento nominal médio *per capita* (R\$):**

Os valores de rendimento nominal médio dos municípios foram obtidos a partir das informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com base nos dados do Censo Demográfico de 2022.

Em estudos que envolvem indicadores expressos em unidades absolutas, Bhattacharya e Dass (2007) sugerem a aplicação de técnicas de padronização, de modo a permitir a comparação entre diferentes áreas, por meio da reescala dos dados em um intervalo contínuo entre 0 e 1. Nesse procedimento, os maiores valores assumem a extremidade superior da escala, enquanto os menores correspondem ao limite inferior.

No contexto desta pesquisa, a adoção direta desse método mostrou-se inadequada, uma vez que o universo de análise é composto por um número reduzido de municípios, o que comprometeria a variabilidade dos resultados e a interpretação do indicador.

Assim, optou-se por uma abordagem alternativa, baseada na comparação do desempenho de cada município em relação ao conjunto de municípios pertencentes à sua microrregião, permitindo avaliar sua posição relativa no espaço regional imediato. Essa estratégia possibilita uma análise mais representativa das desigualdades locais.

A forma de cálculo adotada é apresentada a seguir:

$$RnNor = \frac{RnMun - RnMín}{RnMáx - RnMín} \quad (\text{Equação 38})$$

Em que:

$RnNor$  = rendimento nominal médio *per capita* normalizado (número entre 0 e 1);

RnMun = rendimento nominal médio do município em estudo (em reais (R\$));

RnMín = menor rendimento nominal médio da microrregião geográfica (em reais (R\$));

RnMáx = maior rendimento nominal médio da microrregião geográfica (em reais (R\$)).

### **Índice de Inequidade (Gini):**

O Índice de Gini, também denominado coeficiente de Gini, é um indicador amplamente utilizado para mensurar o grau de desigualdade na distribuição de renda em uma determinada população. Proposto pelo estatístico italiano Corrado Gini, esse índice assume valores entre 0 e 1, em que valores próximos de zero indicam maior igualdade na distribuição da renda, enquanto valores próximos de um refletem elevada concentração de renda em uma parcela reduzida da população.

Neste estudo, foi utilizado o Índice de Gini da renda domiciliar *per capita* em nível municipal, calculado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) a partir dos dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010. Destaca-se que, até o momento (2026), não há estimativas municipais mais recentes desse indicador com base no Censo Demográfico de 2022, em função das especificidades metodológicas envolvidas em seu cálculo. Ainda assim, sua permanência na análise se justifica pelo fato de o Índice de Gini representar uma condição estrutural de desigualdade socioeconômica, a qual influencia diretamente a forma como os impactos da seca se distribuem entre os diferentes grupos sociais.

Municípios com elevados níveis de desigualdade tendem a apresentar maior concentração de renda e de acesso a recursos produtivos, infraestrutura e serviços básicos, o que amplia a sensibilidade social e reduz a capacidade adaptativa frente a eventos climáticos extremos. Dessa forma, o Índice de Gini foi mantido não com a finalidade de realizar comparações temporais diretas entre diferentes períodos, mas como um elemento fundamental para a caracterização do contexto socioeconômico dos municípios analisados e para a interpretação integrada do Índice de Vulnerabilidade à seca.

### **Força de trabalho não ocupada (%):**

A porcentagem da força de trabalho não ocupada no município foi calculada com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio do SIDRA, provenientes do Censo Demográfico de 2022, com base nas informações contidas na “Tabela 10253”. O cálculo é feito utilizando a Equação 39.

$$PopDes(\%) = \frac{Pop \times 100}{PEA} \quad (\text{Equação 39})$$

Em que:

PopDes(%) = População Economicamente Ativa, não ocupada residentes no município (porcentagem);

PopDes = População Economicamente Ativa, não ocupada residentes no município (número de habitantes);

PEA = População Economicamente Ativa do município.

**Volume de água atingindo nos reservatórios ao fim do quadrimestre chuvoso, no ano de referência (%):**

O percentual do volume hídrico (Equação 40) alcançado pelos reservatórios ao término do quadrimestre chuvoso<sup>7</sup> nos municípios foi estimado a partir das informações disponibilizadas pela AESA, referentes ao ano de 2024. A referida instituição realiza o acompanhamento mensal dos volumes armazenados nos principais açudes do território paraibano.

Definiu-se como quadrimestre chuvoso o período correspondente aos meses de fevereiro a maio.

$$VolAt(\%) = \frac{VolAt \times 100}{VolTotal} \quad (\text{Equação 40})$$

Em que:

---

<sup>7</sup> Na região semiárida do estado da Paraíba, o regime pluviométrico caracteriza-se pela concentração das precipitações em períodos específicos, denominados quadrimestres chuvosos. Embora possam ocorrer chuvas esporádicas ao longo dos demais meses do ano, o volume mais significativo de precipitação tende a se concentrar em um intervalo de quatro, ou mesmo três, meses anuais.

$VolAt(\%)$  = volume de água atingindo nos reservatórios ao fim do quadrimestre chuvoso nos reservatórios dentro do limite do município (porcentagem);

$VolAt$  = volume de água atingindo nos reservatórios ao fim do quadrimestre chuvoso nos reservatórios dentro do limite do município (em  $m^3$ );

$VolTotal$  = volume total dos reservatórios dentro do limite do município (em  $m^3$ ).

### **Propriedades que utilizam defensivos agrícolas (%):**

A porcentagem de propriedades que utilizam defensivos agrícolas no município foi estimada com base nos dados disponibilizados pelo IBGE, por meio do sistema SIDRA, a partir do Censo Agropecuário de 2017, especificamente das Tabelas 6778, referente ao número total de estabelecimentos agropecuários, e 6851, que apresenta o número de estabelecimentos agropecuários com uso de agrotóxicos.

O cálculo do indicador foi realizado conforme a Equação 44:

$$DefAgri(\%) = \frac{DefAgri \times 100}{EstabAgro} \quad (\text{Equação 44})$$

Em que:

$DefAgri(\%)$  = número de estabelecimentos agropecuários com uso de agrotóxicos no município (em porcentagem);

$DefAgri$  = número de estabelecimentos agropecuários com uso de agrotóxicos no município (número de estabelecimentos);

$EstabAgro$  = número total de estabelecimentos no município (número de estabelecimentos).

### **Propriedades que usam mecanização agrícola (%):**

A proporção de propriedades rurais que fazem uso de mecanização agrícola no município foi estimada com base nas informações disponibilizadas pelo IBGE, acessadas por meio do sistema SIDRA, referentes ao Censo Agropecuário de 2017. Para esse fim, foram utilizados os dados referentes ao total de estabelecimentos agropecuários e àqueles que registram a presença de tratores e outros equipamentos de mecanização, conforme a Tabela 6872.

A metodologia de cálculo do indicador é apresentada a seguir:

$$MecAgri(\%) = \frac{MecAgri \times 100}{EstabAgro} \quad (\text{Equação 45})$$

Em que:

MecAgri(%) = número de estabelecimentos agropecuários com uso de Mecanização Agrícola no município (em porcentagem);

MecAgri = número de estabelecimentos agropecuários com uso de Mecanização Agrícola no município (número de estabelecimentos);

EstabAgro = número total de estabelecimentos no município (número de estabelecimentos).

#### **Áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para pecuária e agricultura (%):**

A proporção de áreas agrícolas classificadas como degradadas ou inadequadas para o desenvolvimento das atividades agropecuárias no município foi estimada com base nas informações disponibilizadas pelo IBGE, acessadas por meio do sistema SIDRA, referentes ao Censo Agropecuário de 2017, especificamente à Tabela 6881. Os valores correspondentes aos municípios de Picuí, Sousa e Sumé foram obtidos a partir da Equação 46.

$$\hat{Area}AgriDI(\%) = \frac{\hat{Area}AgriDI \times 100}{\hat{Area}Total} \quad (\text{Equação 46})$$

Em que:

$\hat{Area}AgriDI(\%)$  = áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para pecuária e agricultura (em porcentagem);

$\hat{Area}AgriDI$  = áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para pecuária e agricultura (em hectares);

$\hat{Area}Total$  = área dos estabelecimentos agropecuário (em hectares).

#### *6.6.3. Indicadores de Capacidade Adaptativa*

### **Taxa de alfabetização (%):**

A taxa de alfabetização municipal foi calculada com base nas informações do IBGE, disponibilizadas no sistema SIDRA, a partir dos dados do Censo Demográfico de 2022. Para esse fim, utilizaram-se os percentuais apresentados na Tabela 9542, dos quais foram extraídos os valores correspondentes aos municípios de Picuí, Sousa e Sumé.

### **População aposentada no município (%):**

A proporção de aposentados no município foi estimada com base nas informações disponibilizadas pelo Ministério da Previdência Social (MPS), referentes ao ano de 2023, obtidas no documento Estatísticas Municipais 2000 a 2023. A partir desses dados, procedeu-se ao cálculo conforme descrito a seguir:

$$PopAposen(\%) = \frac{PopAposen \times 100}{PopTotal} \quad (\text{Equação 47})$$

Em que:

PopAposen(%) = população residente no município que recebe benefícios emitidos pela previdência social (em porcentagem);

PopAposen = população residente no município que recebe benefícios emitidos pela previdência social (número de pessoas);

PopTotal = população total residente no município (em número de habitantes).

### **Índice de Desenvolvimento Humano municipal:**

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é um indicador sintético utilizado para avaliar e comparar o nível de desenvolvimento humano dos municípios, permitindo sua classificação em diferentes faixas, que variam de baixo a muito alto desenvolvimento humano. Esse índice busca representar, de forma integrada, aspectos fundamentais das condições de vida da população.

O IDHM é composto por três dimensões principais: longevidade, expressa pela expectativa de vida ao nascer; educação, relacionada ao acesso e à permanência no

sistema educacional; e renda, que reflete o padrão econômico da população. No Brasil, o cálculo desse indicador em escala municipal é realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em parceria com instituições nacionais, com periodicidade decenal, sendo seus resultados divulgados por meio do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil.

Neste estudo, foram utilizados os valores de IDHM divulgados no Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2013), calculados com base nos dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010. Ressalta-se que, até o momento (2026), não foram disponibilizadas estimativas municipais atualizadas do IDHM com base no Censo Demográfico de 2022, uma vez que seu cálculo demanda um conjunto amplo e detalhado de informações socioeconômicas, cuja atualização ocorre em intervalos mais longos. Dessa forma, o IDHM foi mantido na análise por representar um indicador estrutural do desenvolvimento humano, cujas variações tendem a ocorrer de maneira gradual ao longo do tempo, exercendo influência direta sobre a capacidade adaptativa e a sensibilidade socioeconômica dos municípios frente aos impactos da seca. Sua utilização, portanto, contribui para a caracterização do contexto socioeconômico local e para a interpretação integrada do Índice de Vulnerabilidade à seca, sem a pretensão de realizar comparações temporais diretas entre diferentes períodos.

#### **Porcentagem do PIB investido em educação e cultura (%):**

A participação dos gastos municipais com Educação e Cultura em relação ao PIB foi estimada utilizando os valores referentes ao ano de 2023, obtidos na tabela “Despesa por função – Educação e Cultura”, disponibilizada pelo Ministério da Fazenda – Secretaria do Tesouro Nacional, por meio do IPEADATA.

Essa função representa o maior nível de agregação das ações da administração pública nas diversas áreas de despesa, considerando a soma das despesas com as funções Educação e Cultura. A partir desses dados, foi realizado o cálculo da participação dos gastos em relação ao PIB municipal (obtido no site do IBGE), conforme descrito a seguir:

$$InvstEduCult(\%) = \frac{InvstEduCult \times 100}{PIBMunicipal} \quad (\text{Equação 48})$$

Em que:

$\text{InvstEduCult}(\%) = \text{investimento em educação e cultura no município em relação ao PIB municipal (em porcentagem)}$ ;

$\text{InvstEduCult} = \text{investimento em educação e cultura no município (em reais (R\$))}$ ;

$\text{PIBMunicipal} = \text{produto interno bruto municipal (em reais (R\$))}$ .

### **População atendida por programas sociais no município (%):**

Neste estudo, são analisados os seguintes benefícios sociais federais recebidos pelos municípios: o Programa Bolsa Família (PBF) e o Benefício de Prestação Continuada (BPC).

O Programa Bolsa Família (PBF) consiste em um programa de transferência direta de renda com condicionalidades, direcionado a famílias em situação de pobreza e extrema pobreza, devidamente cadastradas nos municípios brasileiros. Criado em 2004, o programa é financiado pelo Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS) e tem como objetivo contribuir para a redução da pobreza e da desigualdade social. Entre os anos de 2021 e 2023, o programa foi temporariamente renomeado como Auxílio Brasil, retomando sua denominação original em março de 2023. A variável utilizada neste trabalho corresponde ao número de benefícios ativos em dezembro de cada ano, com frequência anual no período de 2004 a 2024, excluindo benefícios suspensos. Os dados foram obtidos junto ao Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS), por meio do IPEADATA.

O Benefício de Prestação Continuada (BPC) é um benefício assistencial previsto na Constituição Federal de 1988 e regulamentado pela Lei Orgânica da Assistência Social (LOAS), de 1993. O programa garante a transferência mensal de um salário mínimo a pessoas idosas com 65 anos ou mais e a pessoas com deficiência que apresentem renda familiar *per capita* inferior a 1/4 do salário mínimo, independentemente de contribuição previdenciária. Desde 1996, o BPC vem substituindo progressivamente a Renda Mensal Vitalícia (RMV), benefício criado em 1974 e atualmente em extinção.

O Benefício de Prestação Continuada (BPC) apresenta frequência anual no período de 1996 a 2024 para a análise nas escalas nacional, regional e estadual. Para a análise em escala municipal, os dados são considerados separadamente em duas séries: BPC para idosos e BPC para pessoas com deficiência, ambas representadas pelo número de benefícios concedidos em dezembro de cada ano, com informações disponíveis até o

ano de 2016. Os dados são provenientes do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS), conforme disponibilizados pelo IPEADATA.

O cálculo foi elaborado com a seguinte equação:

$$PopPS(\%) = \frac{(PBF+BPC) \times 100}{PopTotal} \quad (\text{Equação 49})$$

Em que:

PopPS(%) = investimento em educação e cultura no município em relação ao PIB municipal (em porcentagem);

PBF = Programa Bolsa Família (em número de benefícios);

BPC = Benefício de Prestação Continuada (em número de benefícios);

PopTotal = população total residente no município (em número de habitantes).

#### **Produto Interno Bruto municipal *per capita* (R\$):**

O PIB *per capita* dos municípios foi obtido a partir dos dados fornecidos pelo IBGE (2023). Para o cálculo do PIB *per capita*, o IBGE considerou-se a população registrada no Censo Demográfico de 2022, conforme a publicação Relação da População dos Municípios enviada ao TCU em 2023, incluindo as atualizações de limites territoriais comunicadas ao IBGE entre 1º de agosto de 2022 e 30 de abril de 2023, no âmbito dos acordos de cooperação técnica com órgãos estaduais, com o objetivo de consolidar os limites municipais.

Para indicadores que não estão expressos em porcentagem, adotou-se a metodologia proposta por Bhattacharya e Dass (2007), que sugere a normalização comparativa dos dados entre as entidades em estudo. Nesse modelo, os valores são escalonados entre 0 e 1, sendo 1 atribuído ao maior valor do conjunto (limiar superior) e 0 ao menor valor (limiar inferior).

Optou-se por realizar uma análise comparativa entre os municípios e suas respectivas microrregiões, permitindo identificar a posição relativa de cada município em relação aos municípios vizinhos de sua microrregião.

O cálculo foi realizado da seguinte forma:

$$PIBPerCap(\%) = \frac{PIBPerCap - PIBPerCapMín}{PIBPerCapMáx - PIBPerCapMín} \quad (\text{Equação 50})$$

Em que:

PIBPerCap(%) = Produto Interno Bruto *Per Capita* normalizado (número entre 0 e 1);

PIBPerCap = Produto Interno Bruto *Per Capita* do município em estudo (em reais (R\$));

PIBPerCapMín = Menor Produto Interno Bruto *Per Capita* da microrregião geográfica (em reais (R\$));

PIBPerCapMáx = Maior Produto Interno Bruto *Per Capita* da microrregião geográfica (em reais (R\$)).

### **Força de trabalho que independe da agropecuária (%):**

A proporção da força de trabalho municipal não vinculada à agropecuária (Equação 51) foi estimada com base nos dados do Censo Agropecuário de 2017, disponibilizados pelo IBGE por meio do SIDRA, especificamente a Tabela 6884.

$$PopIndpAg(\%) = \frac{(PopTotal - EmpAgro) \times 100}{PopTotal} \quad (\text{Equação 51})$$

Em que:

PopIndpAg(%) = população que independe da agropecuária no município (em porcentagem);

EmpAgro = população empregada na agropecuária no município (em número de habitantes);

PopTotal = população total residente no município (em número de habitantes).

## **7. RESULTADOS**

### **7.1. Índice de Dias Consecutivos Secos**

A análise do regime pluviométrico nos municípios analisados indica que Picuí apresenta a maior média anual de DCS, com aproximadamente 148 dias. Entretanto, foi em Sumé que se registrou o evento individual mais prolongado de seca no período de 1994 a 2023. Nesse intervalo, identificou-se um episódio extremo de 305 dias consecutivos sem precipitação expressiva, considerando registros diários iguais ou inferiores a 3 mm, conforme o critério adotado. Esse período excepcional ocorreu entre 12 de maio de 2016 e 12 de março de 2017, inserido no contexto da intensa seca que atingiu o Nordeste brasileiro, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Números médio e máximo de Dias Consecutivos Secos (DCS) dos municípios analisados.

<b>Município</b>	<b>Média de DCS</b>	<b>Máximo de DCS</b>	<b>Ano</b>	<b>Período</b>
<b>Picuí</b>	147,67	254	1997	25/05/1997 até 02/02/1998
<b>Sousa</b>	128,43	197	2012	04/07/2012 até 16/01/2013
<b>Sumé</b>	113,23	305	2016	12/05/2016 até 12/03/2017

Fonte: autora, 2026.

Os três anos em que ocorreram os maiores valores de DCS nos municípios coincidem com os de seca no NEB. A seca ocorrida no NEB em 1997 configurou-se como um evento de grande relevância do ponto de vista socioambiental, tendo sido potencializada por fatores climáticos extremos, como a atuação do fenômeno *El Niño-Oscilação Sul* (ENOS), em sua fase quente *El Niño*, e por condições estruturais de vulnerabilidade social e econômica. Estima-se que aproximadamente 30% da região nordestina tenha sido diretamente afetada, com maior intensidade nas porções setentrionais (Cunha *et al.*, 2018).

Esse cenário resultou em prejuízos significativos à disponibilidade hídrica e à produção agrícola, conforme evidenciado por Pinheiro e Freire (2012). Relatos de agricultores e agricultoras da comunidade Mendes, em Picuí, revelam que as secas de 1997–1998 são lembradas como um dos períodos mais difíceis já vivenciados, marcados por intensas privações e estratégias de sobrevivência. Muitas famílias migraram em busca de trabalho, enquanto as que permaneceram passaram a depender de frentes emergenciais de trabalho oferecidas pelo poder público, realizando atividades como a construção de pequenos barreiros e açudes, em condições precárias, como forma de garantir a subsistência diante da inviabilidade da produção agrícola.

De acordo com Sena, Moraes Neto e Lucena (2019), os anos de 1997/1998, em Sumé, foram marcados por mudanças na composição dos rebanhos, com redução de

bovinos e ovinos e aumento de caprinos e suínos, em função das condições impostas por um El Niño forte e Gradiente Meridional Inter-hemisférico da Temperatura da Superfície do Mar (GRADM) positivo, que afetaram o suporte forrageiro e a disponibilidade de água. Em 1998, relatórios do Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba (LMRS-PB) apontaram o Cariri como uma das regiões mais atingidas pela seca, cenário que, associado à vulnerabilidade social e à carência de políticas públicas, resultou em migração rural, mortalidade de rebanhos, estado de calamidade pública e adoção de medidas paliativas, como frentes de trabalho e carros-pipa (Sousa, 2007). Assim, a produção de milho e feijão foi praticamente nula, comprometendo a base alimentar das famílias rurais.

A correlação entre o fenômeno ENOS, em sua fase quente, o *El Niño* e a intensificação das secas no Semiárido nordestino é amplamente reconhecida na literatura climatológica. O episódio de 1997, considerado o mais forte do século XX (Filgueira, 2004), reforça a associação entre variabilidade climática interanual e eventos hidrológicos extremos. Em síntese, a seca de 1997 não apenas evidenciou os impactos diretos de fenômenos climáticos extremos sobre a população e os recursos naturais da região, como também ressaltou as limitações institucionais na resposta a desastres, apontando para a necessidade de revisão e fortalecimento das políticas públicas voltadas à resiliência climática no Semiárido brasileiro.

A repetição de períodos secos desde os anos 1990 evidencia que a crise hídrica não foi apenas um evento isolado, mas parte de um ciclo de secas recorrentes, agravado por falhas estruturais na gestão dos recursos hídricos e no planejamento de políticas preventivas (Marengo *et al.*, 2018; Martins *et al.*, 2018).

Entre os anos de 2012 e 2016, o NEB enfrentou uma das secas mais prolongadas e severas já registradas, com ênfase para o ano de 2016, quando os impactos atingiram seu ápice. Esse evento climático extremo comprometeu abruptamente os recursos hídricos da região, afetando a agricultura, a economia local e o abastecimento urbano (Brito *et al.*, 2017). A estiagem prolongada foi resultado da baixa incidência de chuvas aliada ao aumento das taxas de evaporação, criando um cenário de escassez hídrica generalizada.

Diversos fatores climáticos contribuíram para essa condição adversa. Destacam-se alterações na circulação atmosférica e o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para áreas mais ao norte, fenômenos que reduziram o volume de precipitação esperado (Medeiros; Oliveira; Torres, 2020). Embora não diretamente

relacionada ao *El Niño*, a seca foi intensificada por anomalias na temperatura da superfície do mar no Atlântico Norte Tropical, que alteraram os padrões de umidade que normalmente abastecem o semiárido (Martins *et al.*, 2018).

Em escala local, efeitos semelhantes foram registrados na comunidade Mendes, no município de Picuí. A seca vivenciada no ano de 2012, período em que o estudo foi realizado, foi percebida pelos moradores como uma das mais severas das últimas décadas, inviabilizando o cultivo de lavouras temporárias e permanentes. Nesse contexto, a estiagem era reconhecida como um evento de grande magnitude no semiárido brasileiro, situação sintetizada na fala de um dos entrevistados ao afirmar que “não se colheu o grão que foi plantado” (Pinheiro; Freire, 2012).

No município de Sumé, Farias e Xavier (2023) registram a ocorrência de um episódio de seca significativa já no ano de 2011. Posteriormente, a estiagem iniciada em 2012 no semiárido brasileiro destacou-se pela elevada intensidade e pelos expressivos impactos sobre a agricultura e o abastecimento de água, sendo considerada uma das mais severas das últimas décadas (Alvalá *et al.*, 2019). Nesse contexto, a sub-bacia hidrográfica do rio Sucuru permaneceu em situação de calamidade ao longo do período de 2012 a 2021, evidenciando a persistência e a severidade dos efeitos da seca na região.

## **7.2. Índice de Dias Consecutivos Úmidos**

A partir da análise das precipitações pluviométricas nos municípios estudados, foi possível identificar, para cada ano da série histórica, o número máximo de DCU. Nesse caso, o valor apresentado na coluna DCU corresponde ao maior número de dias consecutivos, dentro de cada ano, em que foi registrada precipitação superior a 3 mm, enquanto a coluna adjacente indica o respectivo ano de ocorrência desse evento.

Dessa forma, as Tabelas 2, 3 e 4 apresentam a relação entre os valores máximos anuais de DCU e os anos em que esses episódios foram registrados para cada município. Essa organização possibilita visualizar, de maneira sintética, os períodos associados a diferentes durações de persistência pluviométrica, evidenciando a variabilidade temporal desses eventos ao longo da série.

Tabela 2 - Distribuição anual do número máximo de Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Picuí (PB).

DCU	Ano
<b>2</b>	1997, 1998, 1999, 2001, 2002, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2021, 2023
<b>3</b>	1996, 2000, 2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011
<b>4</b>	2020, 2022
<b>5</b>	1994, 1995, 2004, 2018
<b>6</b>	2005

Fonte: autora, 2026.

Tabela 3 - Distribuição anual do número máximo de Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Sousa (PB).

DCU	Ano
<b>3</b>	1997, 2003, 2012, 2013, 2015, 2021, 2023
<b>4</b>	1995, 1998, 2000, 2001, 2010
<b>5</b>	1999, 2002, 2011, 2014, 2017, 2019, 2022
<b>6</b>	2004, 2009, 2016
<b>7</b>	1994, 2006
<b>8</b>	1996, 2005, 2007
<b>9</b>	2008, 2018, 2020

Fonte: autora, 2026.

Tabela 4 - Distribuição anual do número máximo de Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Sumé (PB).

DCU	Ano
<b>1</b>	2012
<b>2</b>	1997, 1998, 2003, 2005, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2023
<b>3</b>	1994, 1996, 2001, 2006, 2009, 2010, 2019, 2020, 2021
<b>4</b>	1999, 2007, 2013, 2022
<b>5</b>	2000, 2002, 2004, 2011
<b>6</b>	1995
<b>7</b>	2008

Fonte: autora, 2026.

A análise da distribuição anual dos valores máximos DCU nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé revela um padrão comum marcado pela predominância de eventos pluviométricos de curta duração, associado a elevada variabilidade interanual ao longo da série histórica. Esse comportamento evidencia a irregularidade temporal das chuvas, característica inerente ao regime climático semiárido, no qual episódios chuvosos tendem a ocorrer de forma concentrada e pouco persistente.

Em Picuí, predominam valores de DCU entre 2 e 3 dias, indicando baixa persistência dos eventos chuvosos. Ocorrências mais prolongadas ( $DCU \geq 5$  dias) são pontuais e concentradas em poucos anos, evidenciando elevada variabilidade interanual e reduzida regularidade de períodos úmidos contínuos.

Em Sousa, observa-se padrão semelhante, com predominância de eventos de curta duração (3 a 5 dias) ao longo da série histórica. Valores mais elevados de DCU (7 a 9 dias) ocorreram apenas em anos isolados e, embora pouco frequentes, apresentam maior relevância hidrológica por estarem associados a volumes acumulados expressivos, capazes de favorecer a recarga hídrica superficial e subterrânea, promover a saturação do solo e, em determinados contextos, intensificar processos de escoamento superficial, enxurradas e alagamentos.

Em Sumé, a distribuição anual dos valores máximos de DCU também evidencia forte irregularidade interanual. Os episódios prolongados também são raros, com DCU iguais ou superiores a 5 dias registrados apenas em anos específicos, destacando-se 2008. Esse comportamento reforça o caráter irregular e descontínuo das chuvas na região, marcadas por períodos úmidos breves intercalados por longos intervalos secos.

Para cada evento pluviométrico identificado com base nos DCU, foi calculado o acumulado total de precipitação (mm). Ressalta-se que, nos casos em que um mesmo ano apresentou mais de um evento com o mesmo valor máximo de DCU, foi considerado para análise aquele que apresentou o maior acumulado de precipitação.

Adicionalmente, estimou-se a intensidade média diária do evento, obtida pela razão entre o volume total acumulado e o número de DCU (mm/dia). Essa abordagem permite avaliar não apenas a duração dos eventos, mas também sua concentração temporal, possibilitando distinguir episódios mais persistentes daqueles caracterizados por elevada intensidade pluviométrica em curto intervalo de tempo.

Os resultados são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7, contemplando os valores de DCU, o ano de ocorrência do evento, o acumulado do evento e a precipitação média diária.

Tabela 5 - Características dos principais eventos pluviométricos identificados por Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Picuí (PB).

<b>DCU</b>	<b>Ano</b>	<b>Precipitação acumulada do evento (mm)</b>	<b>mm/dia</b>
3	2011	137,2	45,7
5	1994	126,0	25,2
3	2008	123,0	41,0
3	2006	121,2	40,4
3	1996	120,6	40,2
3	2000	116,0	38,7
2	1997	113,0	56,5
3	2003	112,8	37,6
6	2005	108,0	18,0
2	2010	107,2	53,6
2	1999	106,9	53,5

Fonte: autora, 2026.

Tabela 6 - Características dos principais eventos pluviométricos identificados por Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Sousa (PB).

<b>DCU</b>	<b>Ano</b>	<b>Precipitação acumulada do evento (mm)</b>	<b>mm/dia</b>
8	2005	295,5	36,9
7	1994	260,2	37,2
5	2019	216,6	43,3
8	2007	211,5	26,4
9	2020	183,3	20,4
9	2018	156,0	17,3
8	1996	140,3	17,5
9	2008	132,8	14,8
5	2011	121,8	24,4
4	1995	116,2	29,1
4	2010	112,5	28,1
4	2001	108,6	27,2
5	2002	105,2	21,0
3	2015	103,3	34,4
3	2013	102,0	34,0
3	1997	101,2	33,7

Fonte: autora, 2026.

Tabela 7 - Características dos principais eventos pluviométricos identificados por Dias Consecutivos Úmidos (DCU) do município de Sumé (PB).

<b>DCU</b>	<b>Ano</b>	<b>Precipitação acumulada do evento (mm)</b>	<b>mm/dia</b>
<b>2</b>	2023	236,1	118,1
<b>7</b>	2008	217,6	31,1
<b>5</b>	2002	163,2	32,6
<b>5</b>	2004	153,4	30,7
<b>2</b>	2014	143,1	71,6
<b>4</b>	2022	142,0	35,5
<b>5</b>	2011	134,8	27,0
<b>3</b>	2020	117,8	39,3
<b>3</b>	2001	115,6	38,5
<b>2</b>	2005	109,8	54,9

Fonte: autora, 2026.

A análise integrada dos DCU, dos acumulados pluviométricos e da intensidade média diária evidencia que a duração dos eventos chuvosos não define, isoladamente, a dinâmica pluviométrica da região. Observa-se que episódios de curta duração podem apresentar acumulados expressivos e elevadas intensidades médias, enquanto eventos mais persistentes tendem a registrar menores taxas diárias de precipitação. Esse comportamento demonstra que chuvas concentradas em poucos dias podem resultar em volumes superiores àqueles observados em períodos mais longos, porém distribuídos de forma mais homogênea.

No município de Sousa, foi registrado o maior volume acumulado da série, com 295,5 mm de precipitação distribuídos ao longo de oito DCU, caracterizando um evento relativamente persistente e com intensidade média moderada. Em contraste, no município de Sumé, observou-se um episódio de 236,1 mm concentrado em apenas dois dias consecutivos, evidenciando uma precipitação extremamente intensa e de curta duração.

Essa diferença evidencia que volumes totais elevados podem ocorrer tanto em eventos prolongados quanto em episódios breves, sendo a distribuição temporal da precipitação um fator determinante para os impactos hidrológicos associados. Enquanto em Sousa a chuva mais distribuída favorece maior infiltração e menor geração imediata de escoamento superficial, em Sumé a elevada concentração em curto intervalo de tempo intensifica processos de enxurrada, erosão do solo e perdas hídricas. Esse comportamento reflete a coexistência de dois regimes pluviométricos predominantes no semiárido: eventos curtos e intensos, frequentemente associados a sistemas convectivos,

responsáveis por elevados picos diários e rápida resposta hidrológica, e episódios mais prolongados, caracterizados por intensidades moderadas e maior potencial de infiltração e recarga hídrica.

Do ponto de vista hidrológico, as chuvas concentradas limitam o armazenamento de água no solo e ampliam os processos erosivos, enquanto eventos mais persistentes, embora menos frequentes, contribuem de forma mais eficiente para a recomposição dos reservatórios naturais, evidenciando a elevada irregularidade pluviométrica da região e suas implicações para a vulnerabilidade socioambiental.

No contexto agrícola, esse comportamento pluviométrico impõe restrições expressivas à produção, sobretudo nos sistemas de sequeiro, predominantes entre pequenos produtores. A ocorrência de chuvas intensas e de curta duração compromete a infiltração efetiva da água no perfil do solo, reduzindo sua disponibilidade para as culturas e aumentando a suscetibilidade à erosão e à perda de nutrientes.

Essa alternância entre chuvas intensas de curta duração e episódios mais persistentes, porém raros, reflete a elevada irregularidade temporal do regime pluviométrico regional, característica típica do semiárido nordestino. Tal dinâmica compromete a eficiência do aproveitamento hídrico, uma vez que mesmo anos com maior persistência de eventos chuvosos nem sempre apresentam volumes suficientes para compensar períodos prolongados de estiagem.

Com base nesses resultados, investigou-se o comportamento dos DCU imediatamente subsequentes aos principais eventos de DCS. A Tabela 8 apresenta, para cada município, os respectivos períodos de DCS e DCU, bem como o total de precipitação associado ao evento de DCU e o acumulado pluviométrico anual, permitindo avaliar a resposta das chuvas após intervalos prolongados de estiagem e sua representatividade em relação ao total anual.

Tabela 8 - Eventos de Dias Consecutivos Secos (DCS), Dias Consecutivos Úmidos (DCU) subsequentes e totais pluviométricos em Picuí, Sousa e Sumé (PB).

<b>Município</b>	<b>Período do evento de DCS</b>	<b>Período do evento de DCU</b>	<b>Total de precipitação do evento de DCU (mm)</b>	<b>Total de precipitação anual (mm)</b>
<b>Picuí</b>	05/1997 a 02/1998	03/1998 a 03/1998	13,5	63,8
<b>Sousa</b>	07/2012 a 01/2013	03/2013 a 03/2013	102	1082,60
<b>Sumé</b>	05/2016 a 03/2017	08/2017 a 08/2017	17,6	237,4

Fonte: autora, 2026.

Os resultados apresentados na Tabela 8 evidenciam contrastes importantes entre os municípios quanto à resposta pluviométrica após períodos prolongados de estiagem. Em Picuí e Sumé, os eventos de DCU subsequentes aos DCS máximos foram caracterizados por baixos volumes acumulados (13,5 mm e 17,6 mm, respectivamente), que representam apenas uma pequena parcela da precipitação anual total registrada nesses anos. Esse comportamento indica que, mesmo quando ocorre a retomada das chuvas, sua contribuição para o acumulado anual é limitada, refletindo baixa capacidade de reposição hídrica após longos períodos secos.

Em Sousa, por outro lado, o DCU subsequente ao DCS apresentou acumulado mais elevado (102 mm), correspondendo a uma fração mais expressiva do total anual indicado na última coluna da tabela. Ainda assim, observa-se que esse volume está concentrado em poucos dias (Tabela 6), o que sugere maior intensidade do evento, mas não necessariamente uma distribuição mais regular das chuvas ao longo do ano, podendo favorecer escoamento superficial em detrimento da infiltração.

A análise do DCU pós-DCS em conjunto com o total anual de precipitação demonstra que episódios chuvosos subsequentes à estiagem não garantem, por si só, recuperação hídrica efetiva. Em especial em Picuí e Sumé, o baixo peso desses eventos no acumulado anual reforça a irregularidade do regime pluviométrico, evidenciando que a dinâmica pós-seca varia entre os municípios e tem implicações diretas sobre a disponibilidade hídrica.

Logo, os resultados desse estudo indicam que anos com maiores valores de DCS não apresentam, necessariamente, aumento da concentração das chuvas. Embora Sousa registre totais anuais de precipitação superiores aos de Picuí e Sumé ao longo da série histórica, esse padrão está associado às características climáticas locais, e não à intensificação das chuvas após períodos secos prolongados.

### **7.3. Teste de Mann-Kendall, teste de Inclinação de Sen e teste de Pettitt**

A aplicação dos testes estatísticos às séries históricas indicou comportamentos distintos entre os municípios analisados. Em Sumé, foi identificada uma tendência crescente no número de DCS, com intensidade moderada e significância estatística, evidenciando um aumento consistente desses períodos ao longo do tempo. Em contraste, Picuí e Sousa apresentaram tendências decrescentes, porém de baixa magnitude e sem significância estatística, o que indica que essas variações podem estar associadas

principalmente à variabilidade natural das chuvas, não caracterizando uma mudança sistemática no padrão climático (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores obtidos no teste de Mann-Kendall para os municípios Picuí, Sousa e Sumé (PB).

<b>Município</b>	<b>S</b>	<b>VAR (S)</b>	<b>TAU</b>	<b>Z</b>	<b>N</b>	<b>p-valor</b>
<b>Picuí</b>	-43	3139,6667	-0,0991	-0,7496	30	0,4535
<b>Sousa</b>	-23	3141,6667	-0,0529	-0,3925	30	0,6947
<b>Sumé</b>	122	3140,6667	0,2808	2,1591	30	0,0308

Fonte: autora, 2026.

Nota: S = Estatístico Mann-Kendall; VAR(S) = Variância de S; TAU = Coeficiente Tau de Kendall; Z = Estatística padronizada; N = Tamanho da série temporal; p-valor = Nível de significância estatística.

Os resultados do estimador de Sen reforçam essa interpretação ao apontarem incremento médio de, aproximadamente, 1,87 dias por ano no número de DCS em Sumé, confirmando a intensificação dos períodos secos no município. Por outro lado, Picuí e Sousa registraram reduções médias de  $-1,07$  e  $-0,04$  dias por ano, respectivamente. Contudo, por não apresentarem significância estatística, esses valores devem ser interpretados com cautela, sugerindo ausência de tendência definida nesses dois municípios (Tabela 10).

Tabela 10 - Valores obtidos no teste de Sen's Slope para os municípios Picuí, Sousa e Sumé (PB).

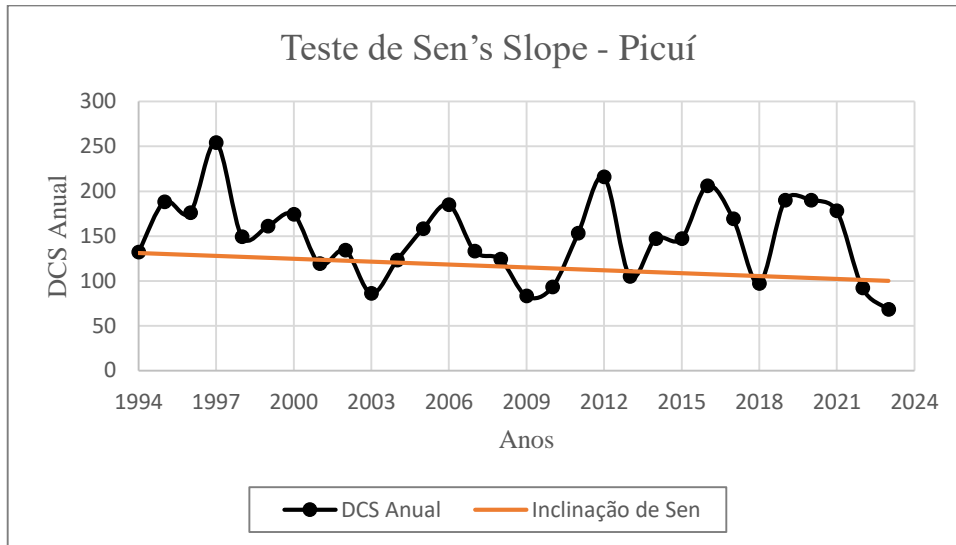
<b>Município</b>	<b>Smed</b>	<b>Z</b>	<b>p-valor</b>
<b>Picuí</b>	-1,0714	-0,7496	0,4535
<b>Sousa</b>	-0,4000	-0,3925	0,6947
<b>Sumé</b>	1,8667	2,1591	0,0308

Fonte: Autora, 2026.

Nota: Smed = Mediana das inclinações; Z = Estatística padronizada; p-valor = Nível de significância estatística.

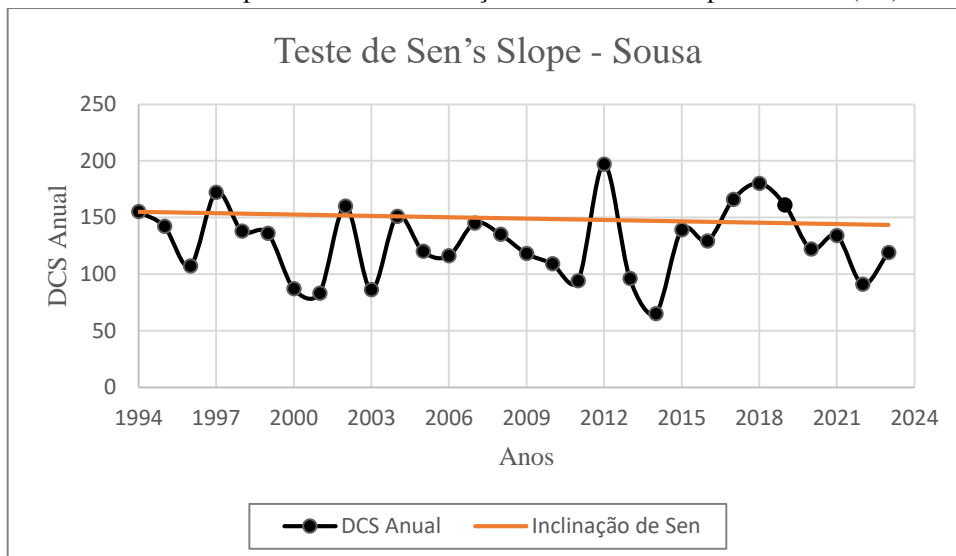
Esses padrões também podem ser observados, conforme ilustrado nos Gráficos 1, 2 e 3, que apresentam a série anual de DCS e a inclinação de Sen para os municípios de Picuí, Sousa e Sumé.

Gráfico 1 - Comportamento da Inclinação de Sen no município de Picuí (PB).



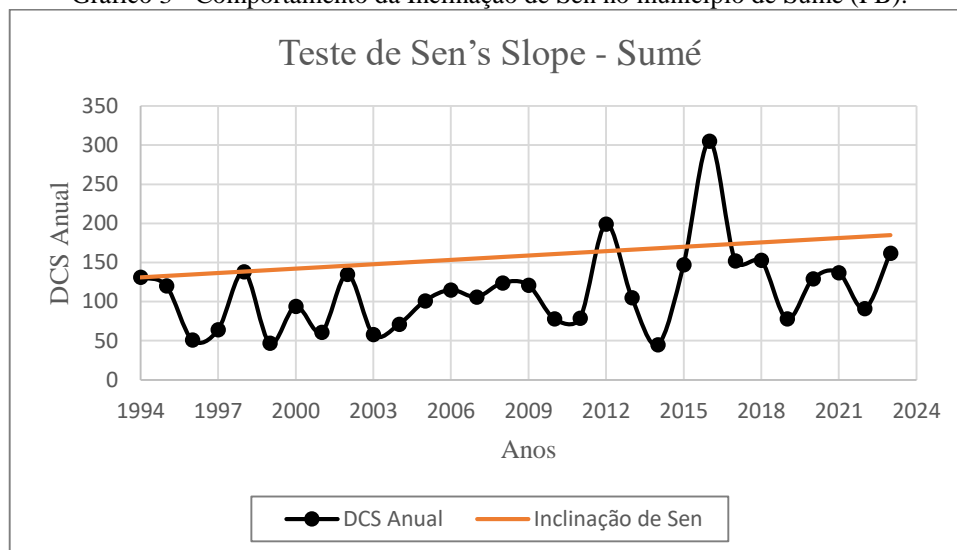
Fonte: autora, 2026.

Gráfico 2 - Comportamento da Inclinação de Sen no município de Sousa (PB).



Fonte: autora, 2026.

Gráfico 3 - Comportamento da Inclinação de Sen no município de Sumé (PB).



Fonte: autora, 2026.

Observa-se que os gráficos evidenciam comportamentos distintos dos DCS entre os municípios analisados. Os municípios de Picuí e Sousa, apresentam elevadas variabilidades interanuais, com alternância entre anos mais e menos secos, enquanto as inclinações de Sen indicam ausência de tendência definida, sugerindo que as flutuações estão associadas principalmente à variabilidade natural do regime pluviométrico. Em Sumé, por outro lado, a inclinação positiva da reta de Sen revela tendência crescente dos DCS, com aumento gradual da duração dos períodos secos ao longo da série histórica, especialmente a partir da década de 2010, indicando intensificação das estiagens no município em comparação aos demais.

A aplicação do teste de Pettitt às séries anuais de DCS permitiu identificar possíveis pontos de mudança nos municípios analisados. No município de Sumé, foi observada uma ruptura em 2014, com estatística de Pettitt  $U^* = 118$  e valor de  $p = 0,1001$ , sugerindo uma possível alteração no regime de DCS, embora sem significância estatística ao nível de 5%. Para Picuí, a ruptura ocorreu no ano de 2000, enquanto em Sousa, a mudança foi identificada em 1999. Em ambos os casos, os valores de p-valor indicam ausência de significância estatística, o que implica que não há evidências robustas de mudança abrupta no comportamento dos períodos secos nesses municípios (Tabela 11).

Tabela 11 - Valores obtidos no teste de Pettitt para os municípios Picuí, Sousa e Sumé (PB).

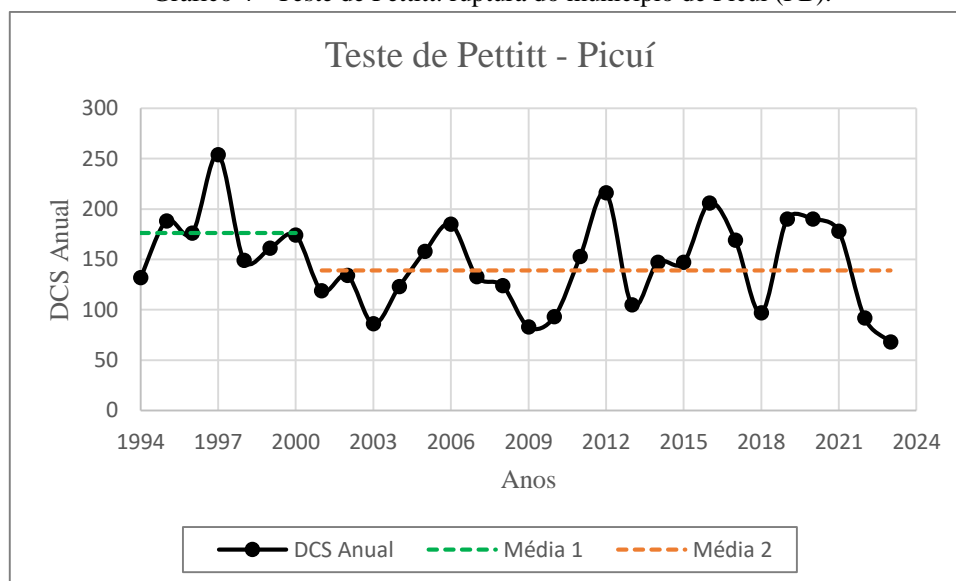
Município	U*	K	Ano de ruptura	p-valor
Picuí	71	7	2000	0,6764
Sousa	50	6	1999	1
Sumé	118	21	2014	0,1001

Fonte: autora, 2026.

Nota: U\* = Estatístico de Pettitt; K = Ponto de mudança (ruptura); p-valor = Nível de significância estatística.

A identificação do ponto de ruptura é fundamental para detectar mudanças significativas no comportamento da série temporal do Índice de DCS, permitindo diferenciar variações naturais de possíveis alterações estruturais no regime climático. No município de Picuí, a análise apontou uma ruptura no ano de 2000, marcada por uma redução expressiva no valor do índice, que passou de 174 para 119 dias consecutivos secos (Gráfico 4).

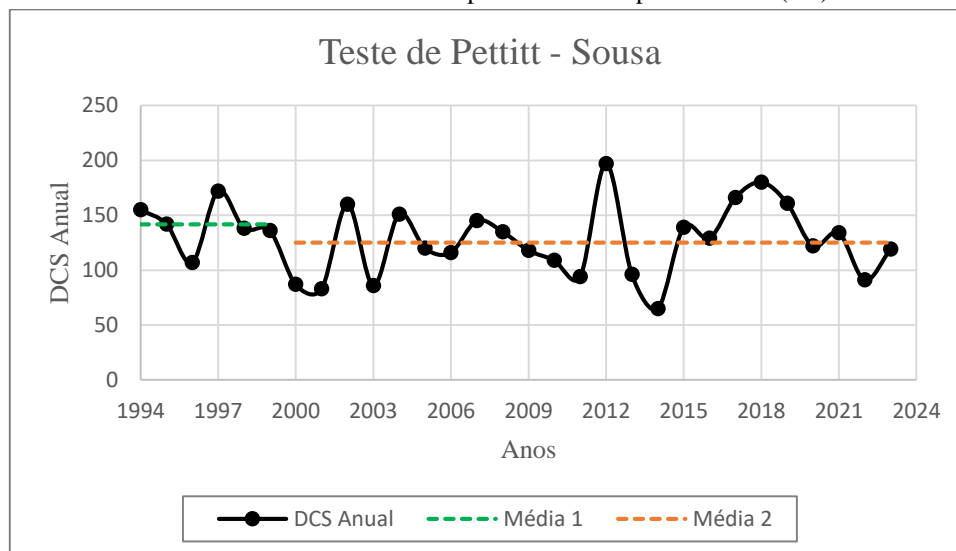
Gráfico 4 - Teste de Pettitt: ruptura do município de Picuí (PB).



Fonte: autora, 2026.

No município de Sousa, a análise do ponto de ruptura indicou uma mudança no ano de 1999, quando a média anual de DCS apresentou uma redução considerável, passando de 136 para 87 dias. Essa alteração sugere uma possível mudança no padrão de ocorrência de períodos secos prolongados, embora os resultados do teste não tenham apresentado significância estatística (Gráfico 5).

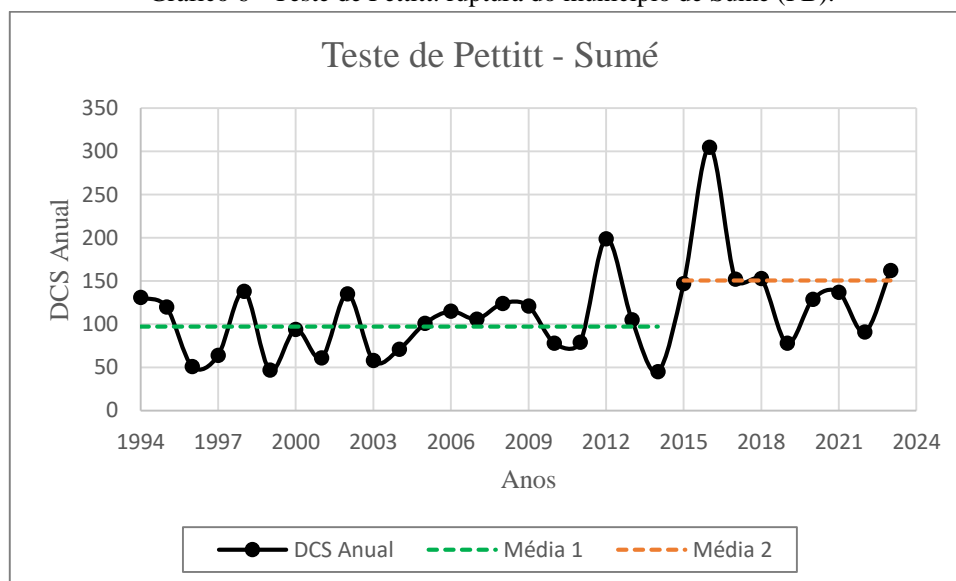
Gráfico 5 - Teste de Pettitt: ruptura do município de Sousa (PB).



Fonte: autora, 2026.

O teste de Pettitt, no município de Sumé, indicou uma ruptura no ano de 2014, marcada por uma mudança no comportamento da série de DCS. Antes desse ponto, os valores médios de DCS eram de 45 e passaram a ser de 147. O resultado obtido está em consonância com os resultados do teste de Sen, que indicou uma tendência crescente e significativa. Apesar de o valor de  $p$  (0,1001) não confirmar significância estatística ao nível de 5%, o desvio observado sugere a possibilidade de uma mudança gradual no padrão de ocorrência de secas mais prolongadas, o que pode refletir alterações climáticas regionais ou efeitos acumulados de variabilidade climática (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Teste de Pettitt: ruptura do município de Sumé (PB).



Fonte: autora, 2026.

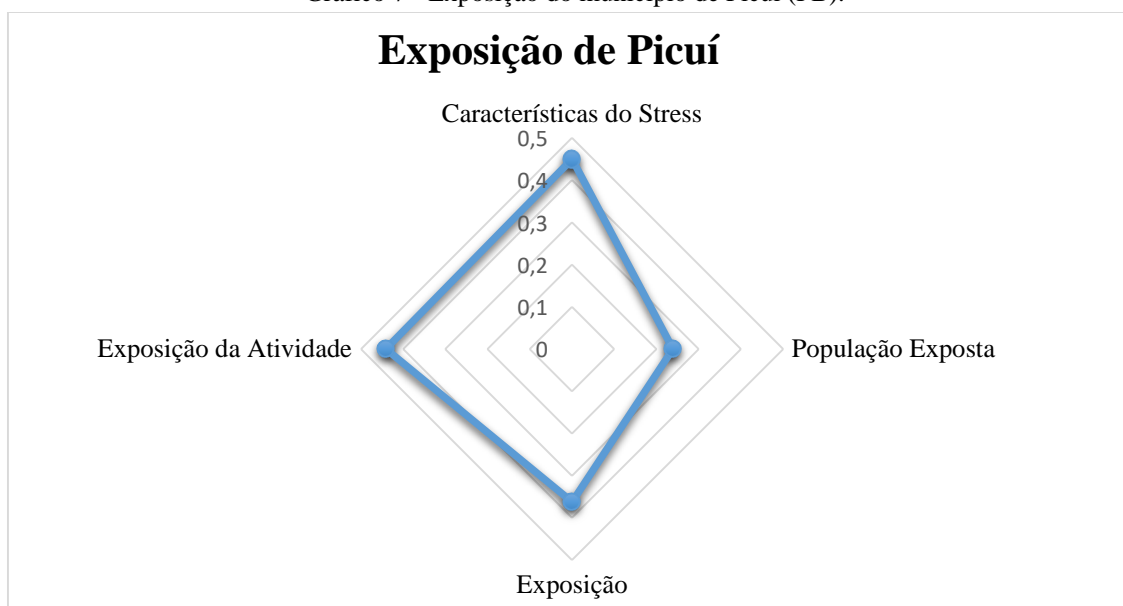
## 7.4. Índice de Vulnerabilidade

### 7.4.1. Exposição

A análise conjunta evidencia que Picuí, Sousa e Sumé compartilham um padrão comum de exposição à seca. Os resultados indicam que os municípios apresentam um padrão convergente de exposição à seca, caracterizado pelo predomínio de quase os mesmos indicadores, com variações principalmente na magnitude dos índices, e não na natureza dos fatores condicionantes. Os valores agregados mostram que Picuí apresenta o maior nível de exposição (0,3618), seguido por Sousa (0,3199) e Sumé (0,2861), conforme as Tabelas 12, 13 e 14.

Em Picuí, a exposição resulta principalmente da Características do Evento (0,4494) e da Exposição da Atividade (0,4410) (Gráfico 7 e Tabela 12). Esse padrão sugere que a pressão climática atua em paralelo a uma base produtiva sensível às variações de chuva, de modo que a exposição não é explicada por um único fator dominante. A População Exposta aparece com menor peso (0,2390), sendo influenciado principalmente pelo indicador de “População Rural (%)”, que compõe 30% da população. Ou seja, a pressão associada à seca, nesse caso, está mais ligada ao modo de uso do território e à sensibilidade das atividades do que ao contingente demográfico em si.

Gráfico 7 - Exposição do município de Picuí (PB).



Fonte: autora, 2026.

Tabela 12 - Valores de Exposição do município de Picuí (PB).

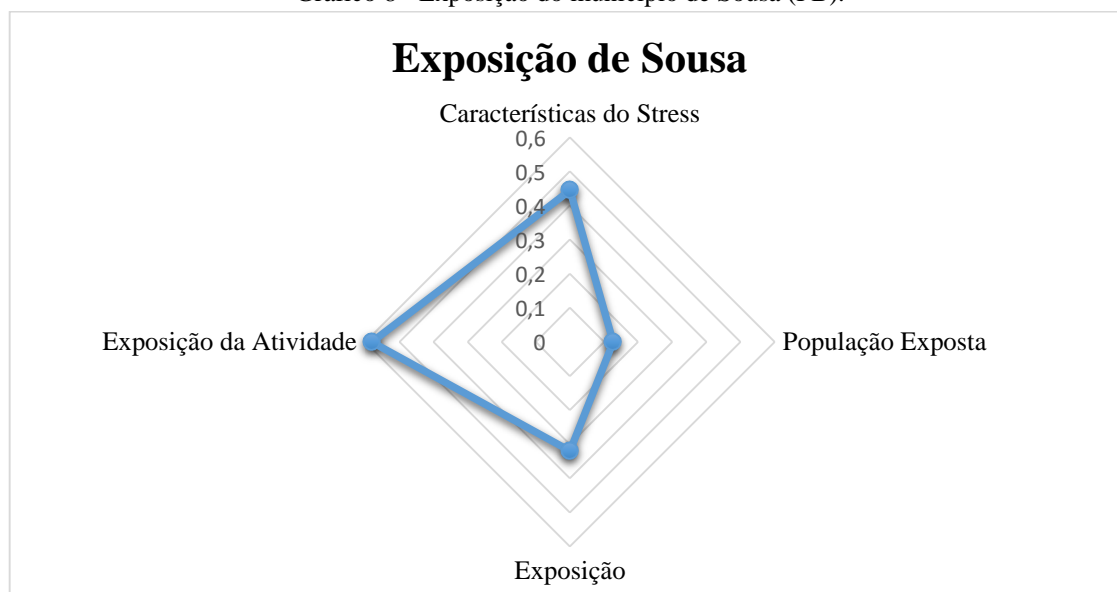
<b>Picuí</b>	<b>Valor</b>
Características do Evento	0,4494
População Exposta	0,2390
Exposição da Atividade	0,4410
<b>Exposição</b>	<b>0,3618</b>

Fonte: autora, 2026.

O município de Sousa (Gráfico 8 e Tabela 13) contrasta de forma nítida com Picuí. Embora a exposição total seja um pouco inferior (0,3199), a estrutura interna do índice é marcada por forte predominância da Exposição da Atividade (0,5807), a maior entre os três municípios. Entretanto, esse valor foi influenciado pela ausência do indicador “Pastagem plantada degradada (%)”, que estava indisponível para o município.

As Características do Evento permanecem relevantes (0,4448), mas aparecem como fator de suporte, e não como elemento estruturante principal. Em paralelo, o valor muito reduzido de População Exposta (0,1267) aponta que, em Sousa, a exposição se manifesta menos pelo volume populacional potencialmente afetado e mais pela possibilidade de a seca comprometer cadeias produtivas e meios de vida associados a setores dependentes do clima. O indicador “Força de trabalho que depende da agropecuária (%)” influenciou bastante nesse valor, pois entre os três municípios, Sousa possui a menor valor para o indicador, ou seja, uma parcela menor da população economicamente ativa de Sousa depende diretamente da agropecuária.

Gráfico 8 - Exposição do município de Sousa (PB).



Fonte: autora, 2026.

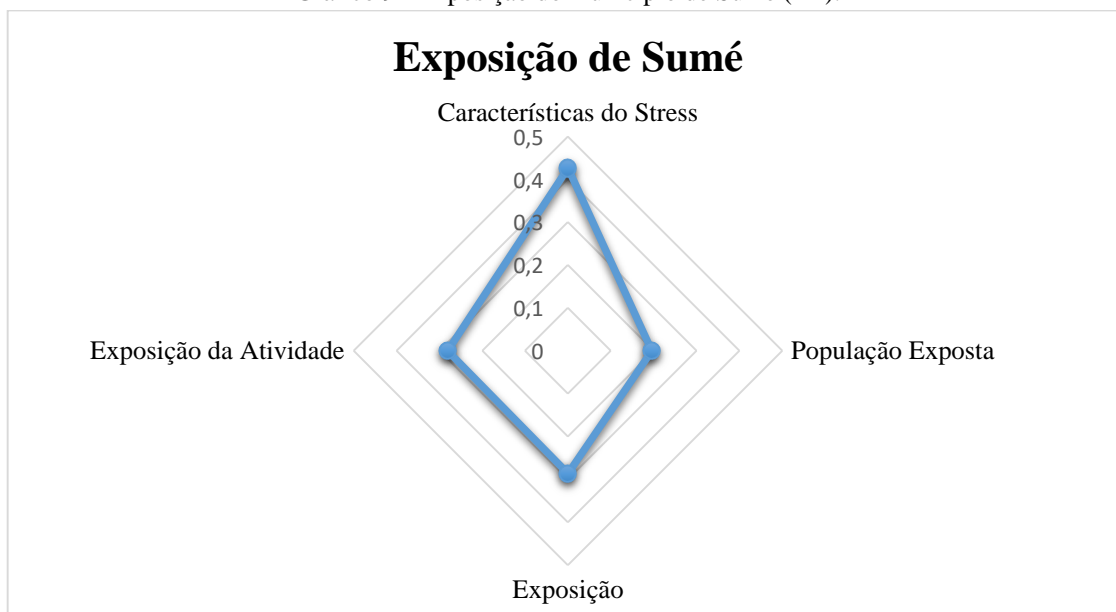
Tabela 13 - Valores de Exposição do município de Sousa (PB).

<b>Sousa</b>	<b>Valor</b>
Características do Evento	0,4448
População Exposta	0,1267
Exposição da Atividade	0,5807
<b>Exposição</b>	<b>0,3199</b>

Fonte: autora, 2026.

Em Sumé, por sua vez, observa-se o menor valor de exposição (0,2861) e um perfil em que o principal determinante é o clima: as Características do Evento alcançam 0,4260, enquanto Exposição da Atividade (0,2805) e População Exposta (0,1959) assumem pesos comparativamente menores (Gráfico 9 e Tabela 14). Esse arranjo sugere que, no município, a pressão associada à seca é mais diretamente explicada pelo comportamento do regime pluviométrico (anomalias, irregularidade e persistência de condições secas), com menor contribuição relativa da estrutura produtiva quando comparada, sobretudo, a Sousa.

Gráfico 9 - Exposição do município de Sumé (PB).



Fonte: autora, 2026.

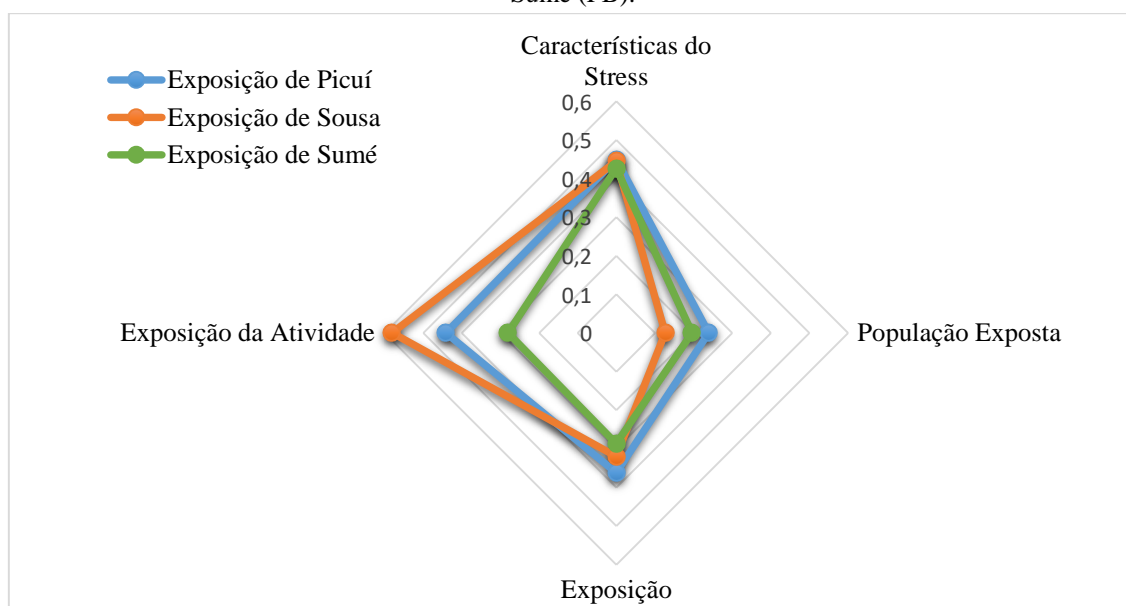
Tabela 14 - Valores de Exposição do município de Sumé (PB).

<b>Sumé</b>	<b>Valor</b>
Características do Evento	0,4260
População Exposta	0,1959
Exposição da Atividade	0,2805
<b>Exposição</b>	<b>0,2861</b>

Fonte: autora, 2026.

A análise comparativa entre os três municípios (Gráfico 10) evidencia diferenças no padrão de exposição entre os municípios analisados. Sousa apresenta maior destaque na Exposição da Atividade, indicando maior dependência de atividades sensíveis às condições climáticas. Picuí apresenta valores intermediários e distribuição mais equilibrada entre os indicadores, enquanto Sumé registra os menores valores gerais, com maior influência das Características do Stress na composição da exposição. Esses resultados indicam que, embora inseridos no mesmo contexto semiárido, os municípios apresentam distintas configurações de exposição à seca.

Gráfico 10 - Análise comparativa dos componentes da Exposição à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB).



Fonte: autora, 2026.

#### 7.4.2. Sensibilidade

Para os três municípios a análise de sensibilidade é marcada pela predominância das Características Tecnológicas como principal fator condicionante, ainda que com diferenças significativas na magnitude dos valores. Os índices agregados de sensibilidade

foram relativamente baixos em Sousa (0,0343), intermediários em Picuí (0,0811) e mais elevados em Sumé (0,0939), como pode ser observado nas Tabelas 15, 16 e 17, indicando variações na intensidade da resposta dos sistemas locais aos impactos da seca.

Tabela 15 - Valores de Sensibilidade do município de Picuí (PB).

<b>Picuí</b>	<b>Valor</b>
Características Socioeconômicas	0,0070
Características Tecnológicas	0,7227
Características das Atividades	0,1053
<b>Sensibilidade</b>	<b>0,0811</b>

Fonte: autora, 2026.

Tabela 16 - Valores de Sensibilidade do município de Sousa (PB).

<b>Sousa</b>	<b>Valor</b>
Características Socioeconômicas	0,0069
Características Tecnológicas	0,1701
Características das Atividades	-
<b>Sensibilidade</b>	<b>0,0343</b>

Fonte: autora, 2026.

Tabela 17 - Valores de Sensibilidade do município de Sumé (PB).

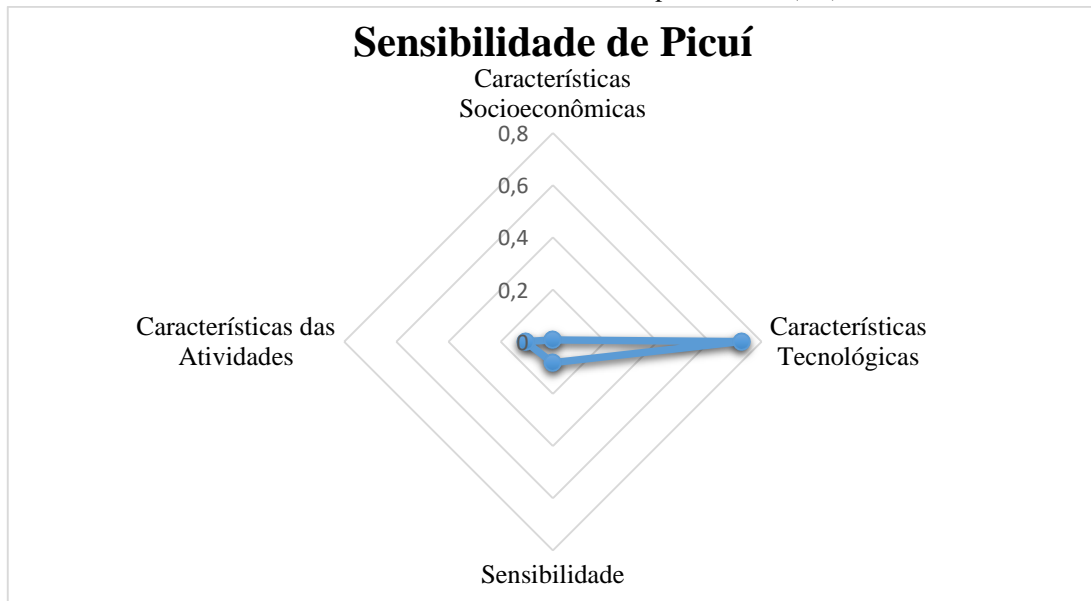
<b>Sumé</b>	<b>Valor</b>
Características Socioeconômicas	0,0068
Características Tecnológicas	0,9291
Características das Atividades	0,1308
<b>Sensibilidade</b>	<b>0,0939</b>

Fonte: autora, 2026.

Nos três municípios as Características Socioeconômicas apresentaram valores baixos, contudo esses valores foram influenciados pelo cálculo de “Rendimento nominal médio *per capita* (R\$)”, uma vez que esses municípios registram os maiores valores desse indicador dentro das respectivas microrregiões às quais pertencem.

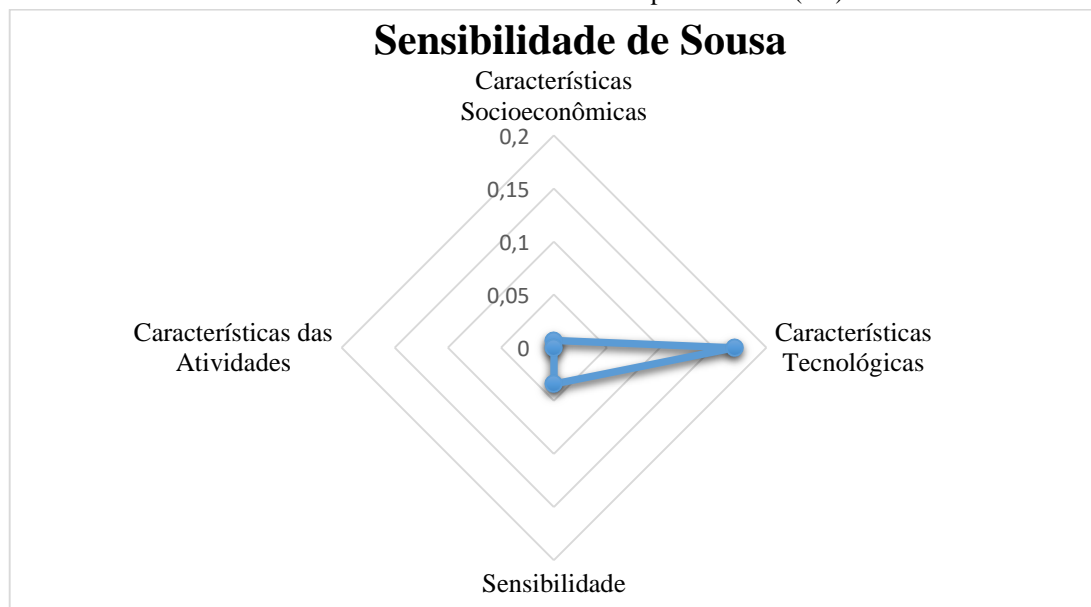
As Características Tecnológicas concentraram os maiores pesos relativos, com destaque para Sumé (0,9291) (Gráfico 13) e Picuí (0,7227) (Gráfico 11), enquanto Sousa apresentou valor consideravelmente inferior (0,1701) (Gráfico 12). Essa predominância evidencia que a sensibilidade regional é fortemente condicionada pela disponibilidade e adoção de tecnologias adaptativas, incluindo infraestrutura hídrica, práticas agropecuárias resilientes e assistência técnica. Nos municípios onde esse componente é mais elevado, observa-se maior vulnerabilidade frente à variabilidade climática, indicando limitações na capacidade de absorver choques associados à seca.

Gráfico 11 - Sensibilidade do município de Picuí (PB).



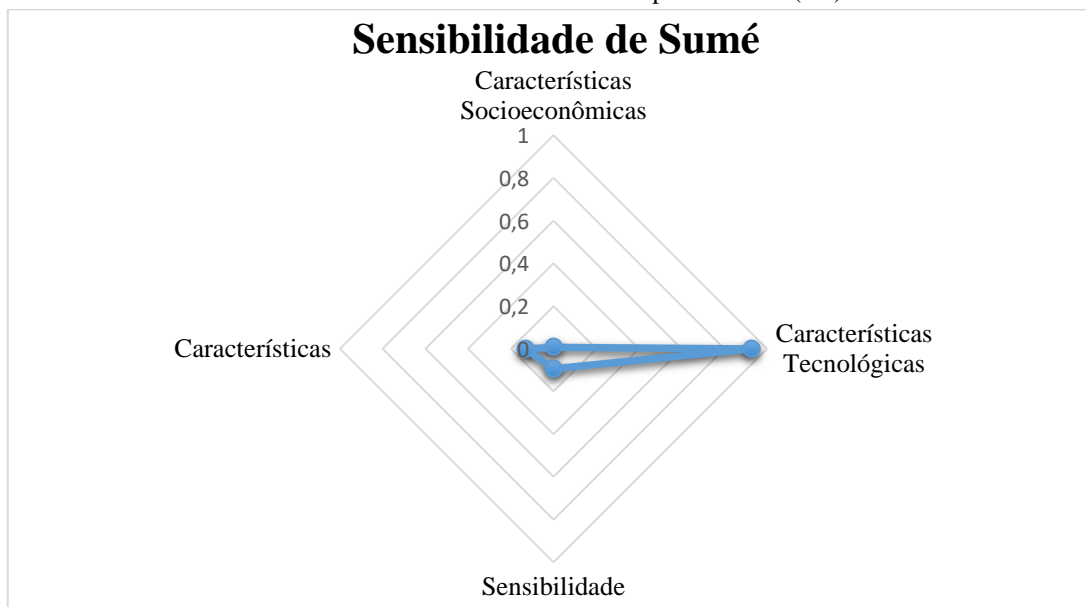
Fonte: autora, 2026.

Gráfico 12 - Sensibilidade do município de Sousa (PB).



Fonte: autora, 2026.

Gráfico 13 - Sensibilidade do município de Sumé (PB).



O principal fator responsável pelo desempenho observado para o município de Sousa foi o elevado valor para o indicador de “Volume de água atingindo nos reservatórios ao fim do Quadrimestre chuvoso, no ano de referência (%)”, que atingiu, aproximadamente, 99% da capacidade total no ano de referência. Esse resultado indica uma condição momentaneamente favorável de disponibilidade hídrica, refletindo diretamente na redução dos índices associados à sensibilidade e à pressão hídrica local. Entretanto, é fundamental contextualizar esse comportamento considerando a infraestrutura regional de abastecimento, uma vez que Sousa é beneficiado pelo aporte hídrico proveniente da transposição do rio São Francisco, o que contribui para a manutenção dos níveis dos reservatórios mesmo em períodos de irregularidade pluviométrica.

Assim, o elevado armazenamento observado não pode ser interpretado exclusivamente como reflexo das condições climáticas locais, mas também como resultado de intervenções estruturais externas ao sistema hidroclimático natural da bacia. Esse aspecto reforça a importância de considerar obras de integração hídrica na interpretação dos indicadores de vulnerabilidade, pois tais intervenções tendem a atenuar os efeitos imediatos da seca, ainda que não eliminem a dependência estrutural do município em relação a fontes hídricas externas.

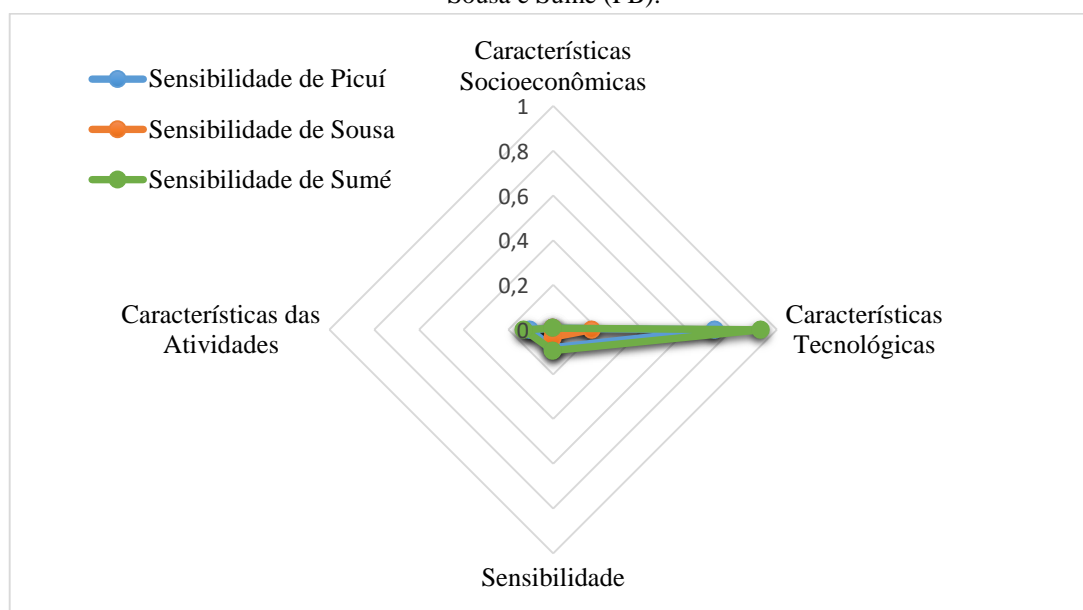
As Características das Atividades, representadas pelo percentual de áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para pecuária e agricultura, apresentaram

contribuições secundárias, variando entre 0,1053 em Picuí e 0,1308 em Sumé. Esses valores indicam a presença de limitações no uso produtivo do solo, associadas à degradação ambiental e à redução da aptidão agrícola, fatores que tendem a intensificar os impactos da seca sobre os sistemas produtivos locais, ainda que com peso relativo inferior ao observado para o componente tecnológico. Para o município de Sousa, esse indicador não foi disponibilizado pelo IBGE, impossibilitando sua incorporação direta na composição da sensibilidade.

O Gráfico 14 evidencia o predomínio das Características Tecnológicas na composição da sensibilidade nos três municípios analisados. Observa-se que Sumé apresenta o maior valor nesse componente, seguido por Picuí, enquanto Sousa registra valor inferior em comparação aos demais. Em relação à Sensibilidade geral, os valores são relativamente próximos, com leve destaque para Picuí e Sumé, enquanto Sousa apresenta resultado ligeiramente menor.

Já as Características Socioeconômicas e as Características das Atividades apresentam valores bastante reduzidos nos três municípios, indicando participação limitada desses fatores na composição da sensibilidade. De forma geral, o gráfico revela que a sensibilidade local está mais associada às condições tecnológicas do que aos aspectos socioeconômicos ou produtivos nos municípios analisados.

Gráfico 14 - Análise comparativa dos componentes da Sensibilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB).



Fonte: autora, 2026.

### 7.4.3. Capacidade Adaptativa

A Capacidade Adaptativa apresentou valores intermediários nos três municípios, com Picuí (0,4999) e Sousa (0,4862) registrando desempenhos ligeiramente superiores ao de Sumé (0,4441), como pode ser observado nas Tabelas 18, 19 e 20. A composição desse componente evidencia que os Meios de Vida constituem o principal suporte adaptativo em todos os casos, refletindo o elevado percentual do indicador “Força de trabalho que independe da agropecuária (%)”, o que indica maior diversificação ocupacional e menor dependência direta da precipitação para manutenção da renda.

Tabela 18 - Valores de Capacidade Adaptativa do município de Picuí (PB).

<b>Picuí</b>	<b>Valor</b>
Capacidade Humana	0,3332
Governabilidade	0,4462
Meios de Vida	0,8400
<b>Capacidade Adaptativa</b>	<b>0,4999</b>

Fonte: autora, 2026.

Tabela 19 - Valores de Capacidade Adaptativa do município de Sousa (PB).

<b>Sousa</b>	<b>Valor</b>
Capacidade Humana	0,2429
Governabilidade	0,5063
Meios de Vida	0,9345
<b>Capacidade Adaptativa</b>	<b>0,4862</b>

Fonte: autora, 2026.

Tabela 20 - Valores de Capacidade Adaptativa do município de Sumé (PB).

<b>Sumé</b>	<b>Valor</b>
Capacidade Humana	0,2926
Governabilidade	0,3532
Meios de Vida	0,8473
<b>Capacidade Adaptativa</b>	<b>0,4441</b>

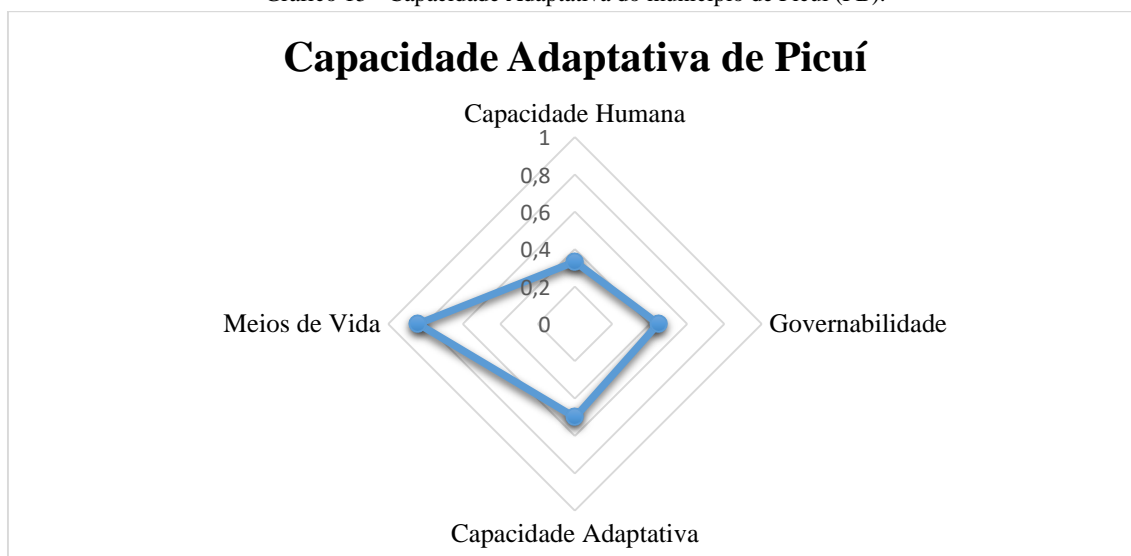
Fonte: autora, 2026.

A dimensão de Governabilidade, formada por indicadores como “Índice de Desenvolvimento Humano Municipal”, “PIB investido em educação e cultura”, “População atendida por programas sociais” e “PIB *per capita*”, foi determinante para diferenciar o desempenho entre os municípios. Sousa apresentou o maior valor nesse

componente (0,5063) (Gráfico 16), sugerindo condições institucionais relativamente mais favoráveis à organização de respostas frente aos eventos de seca, associadas à maior capacidade econômica. Picuí apresentou valor intermediário (0,4462) (Gráfico 15), enquanto Sumé registrou o menor desempenho (0,3532) (Gráfico 17), indicando maior carência institucional e menor capacidade de articulação entre políticas públicas e estratégias locais de adaptação.

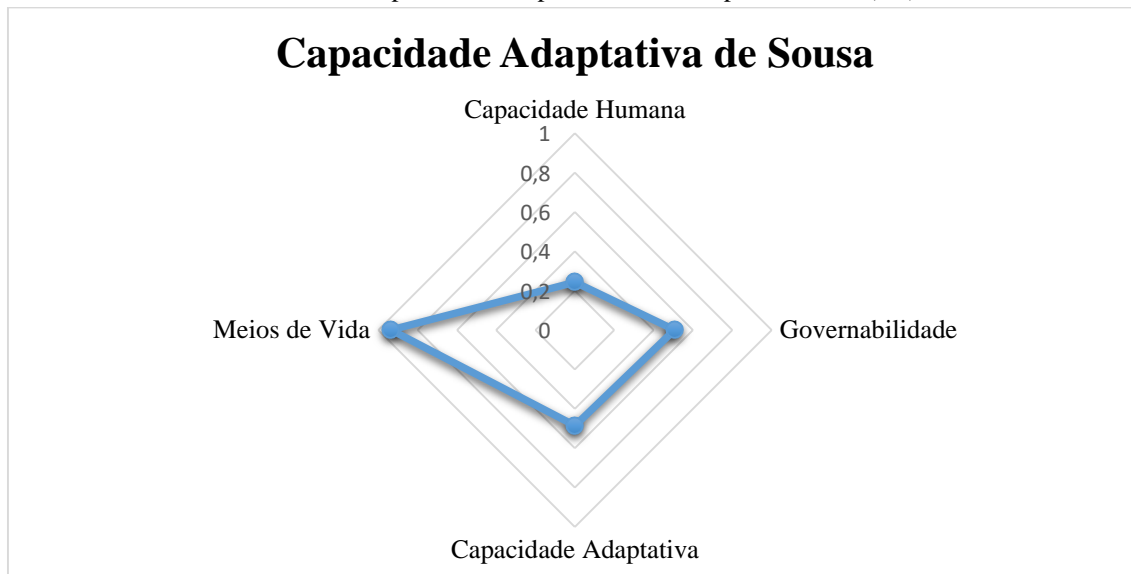
A Capacidade Humana apresentou valores mais baixos e relativamente próximos entre os municípios, evidenciando limitações estruturais relacionadas ao capital humano. O valor baixo foi influenciado principalmente pelos indicadores de “População que recebe algum tipo de Benefício do MPS (%)” e “Índice de Desenvolvimento Humano Municipal”, que refletem a persistência de vulnerabilidades sociais e desigualdades no acesso a oportunidades.

Gráfico 15 - Capacidade Adaptativa do município de Picuí (PB).



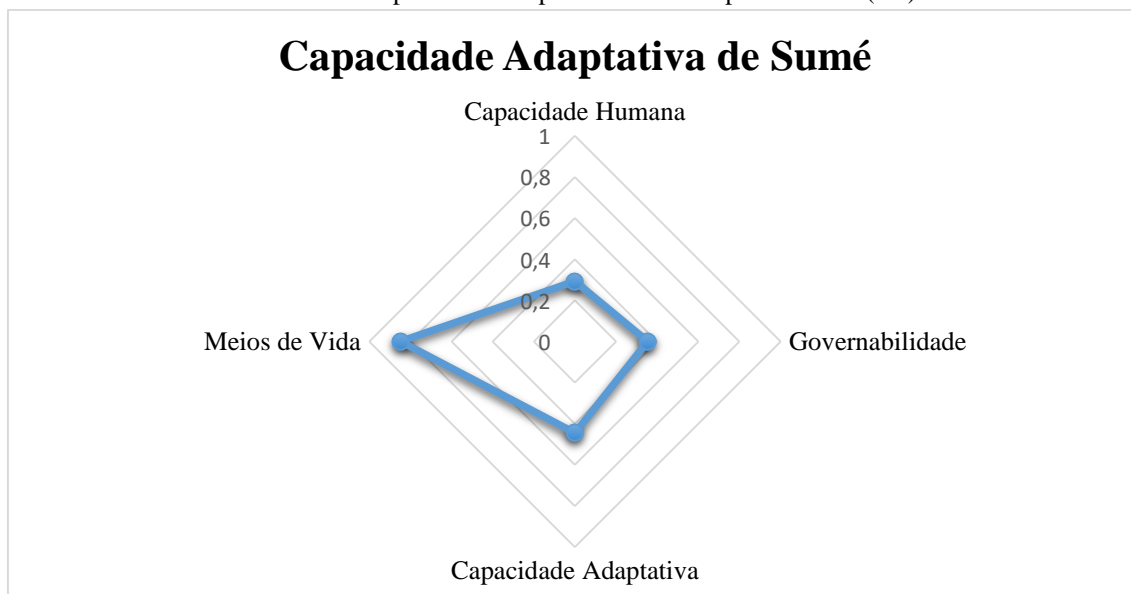
Fonte: autora, 2026.

Gráfico 16 - Capacidade Adaptativa do município de Sousa (PB).



Fonte: autora, 2026.

Gráfico 17 - Capacidade Adaptativa do município de Sumé (PB).

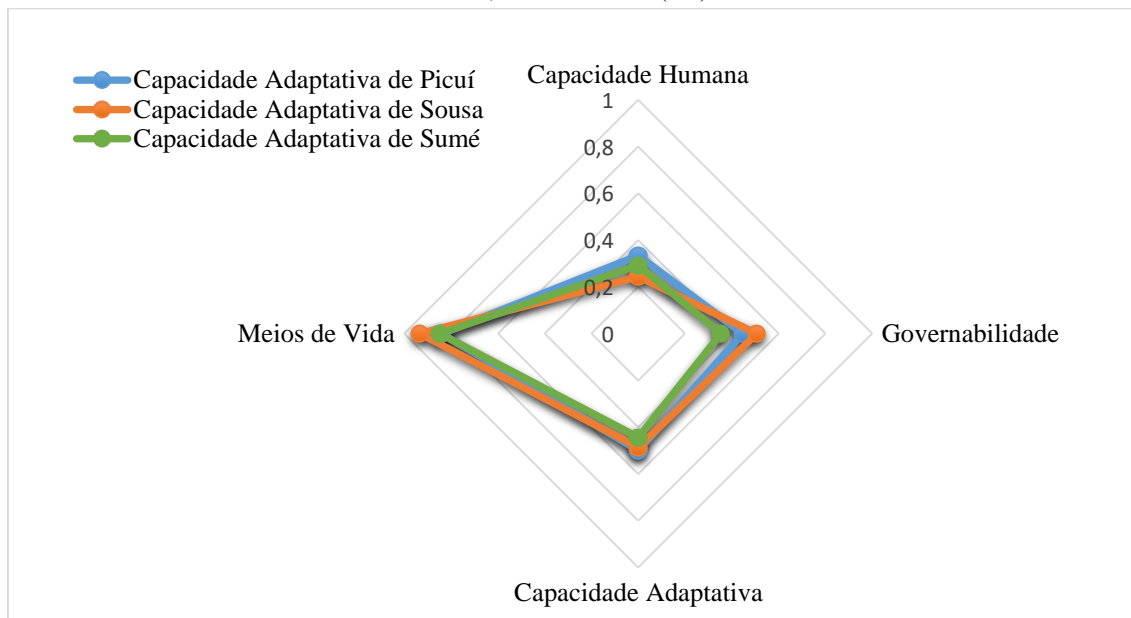


Fonte: autora, 2026.

O Gráfico 18 evidencia diferenças moderadas na Capacidade Adaptativa entre os municípios analisados. Observa-se que Picuí apresenta valores ligeiramente superiores na Capacidade Humana e na Capacidade Adaptativa geral, indicando melhores condições relativas nesses componentes. Sousa, por sua vez, destaca-se no eixo de Governabilidade e registra o maior valor em Meios de Vida. Já Sumé apresenta valores um pouco inferiores na maioria dos indicadores, especialmente em Governabilidade e Capacidade Humana,

embora mantenha desempenho próximo aos demais municípios no componente Meios de Vida.

Gráfico 18 - Análise comparativa dos componentes da Capacidade Adaptativa à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB).



Fonte: autora, 2026.

#### 7.4.4. Vulnerabilidade

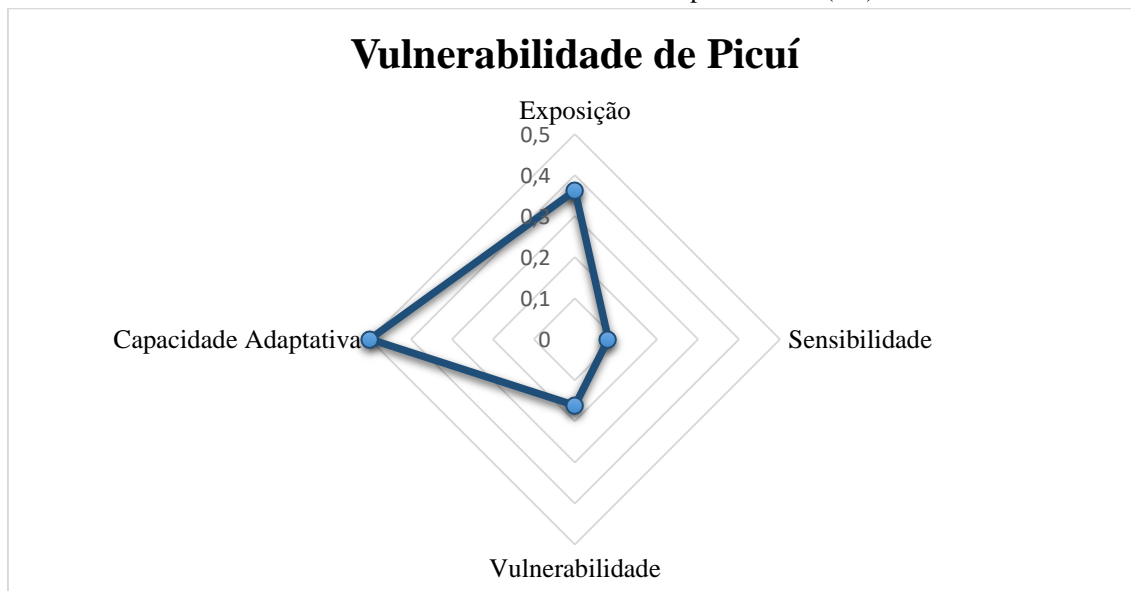
A vulnerabilidade à seca, estimada a partir da integração dos componentes de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, evidencia diferenças importantes entre os municípios analisados. Considerando que a Capacidade Adaptativa apresenta relação inversa com a vulnerabilidade, isto é, quanto maior seu valor, menor tende a ser o nível de vulnerabilidade, foi necessário proceder ao ajuste desse componente para fins de cálculo, de modo a garantir coerência metodológica na composição do índice. Assim, utilizou-se o valor transformado da Capacidade Adaptativa, permitindo sua adequada integração aos demais componentes.

Com base nessa padronização, os resultados indicam maior vulnerabilidade em Sumé (0,2435) (Tabela 23), seguido por Picuí (0,1612) (Tabela 21), enquanto Sousa apresentou o menor índice (0,1279) (Tabela 22), sugerindo condição relativamente mais favorável frente aos impactos associados à seca.

No município de Picuí (Gráfico 19 e Tabela 21), a Vulnerabilidade (0,1612) decorre sobretudo da maior Exposição (0,3618), refletindo a intensidade dos eventos

climáticos, associada a uma Capacidade Adaptativa ajustada bastante reduzida (0,0408), a qual não é suficiente para mitigar os impactos da seca, apesar da baixa Sensibilidade observada (0,0811).

Gráfico 19 - Vulnerabilidade do município de Picuí (PB).



Fonte: autora, 2026.

Tabela 21 - Vulnerabilidade do município de Picuí (PB).

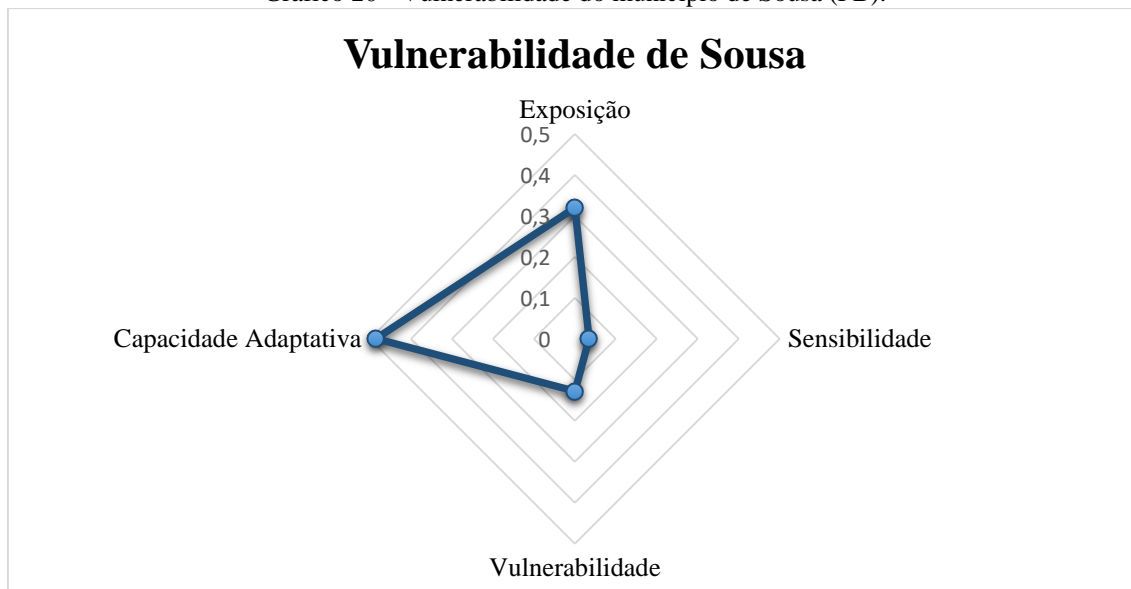
<b>Vulnerabilidade de Picuí</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor para cálculo da Vulnerabilidade</b>
Exposição	0,3618	0,3618
Sensibilidade	0,0811	0,0811
Capacidade Adaptativa	0,4998	0,0408
<b>Vulnerabilidade</b>		<b>0,1612</b>

Fonte: autora, 2026.

Por sua vez, Sousa (Gráfico 20 e Tabela 22), apresentou o menor Índice de Vulnerabilidade (0,1279), resultado de uma combinação de Exposição moderada (0,3199), Sensibilidade reduzida (0,0343) e Capacidade Adaptativa ajustada extremamente baixa (0,0296), evidenciando limitações significativas na capacidade de resposta do município frente aos impactos da seca. Ainda assim, o reduzido peso da Sensibilidade contribui para atenuar o valor final do índice, resultando em menor vulnerabilidade relativa quando comparado aos demais municípios.

Ademais, a presença de infraestrutura hídrica e o aporte de água proveniente da transposição do rio São Francisco atenuam os efeitos imediatos da seca, refletindo-se em menor vulnerabilidade relativa quando comparado a Picuí.

Gráfico 20 - Vulnerabilidade do município de Sousa (PB).



Fonte: autora, 2026.

Tabela 22 - Vulnerabilidade do município de Sousa (PB).

<b>Vulnerabilidade de Sousa</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor para cálculo da Vulnerabilidade</b>
Exposição	0,3199	0,3199
Sensibilidade	0,0343	0,0343
Capacidade Adaptativa	0,4862	0,0296
<b>Vulnerabilidade</b>		<b>0,1279</b>

Fonte: autora, 2026.

Em Sumé (Gráfico 21 e Tabela 23), o maior valor de Vulnerabilidade está associado principalmente à combinação de Exposição e Sensibilidade relativamente moderadas (0,2861 e 0,0939), aliadas a uma Capacidade Adaptativa ajustada elevada (0,3506), a qual, na padronização adotada, representa maior déficit adaptativo e, conseqüentemente, maior contribuição desse componente para o aumento da vulnerabilidade frente às pressões climáticas e socioeconômicas.

Gráfico 21 - Vulnerabilidade do município de Sumé (PB).

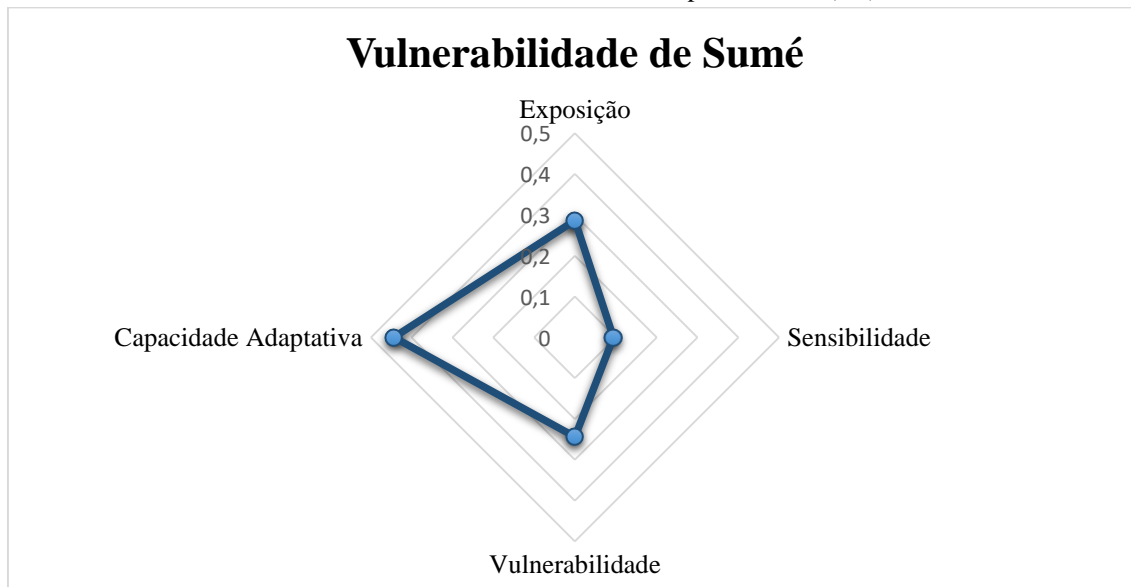


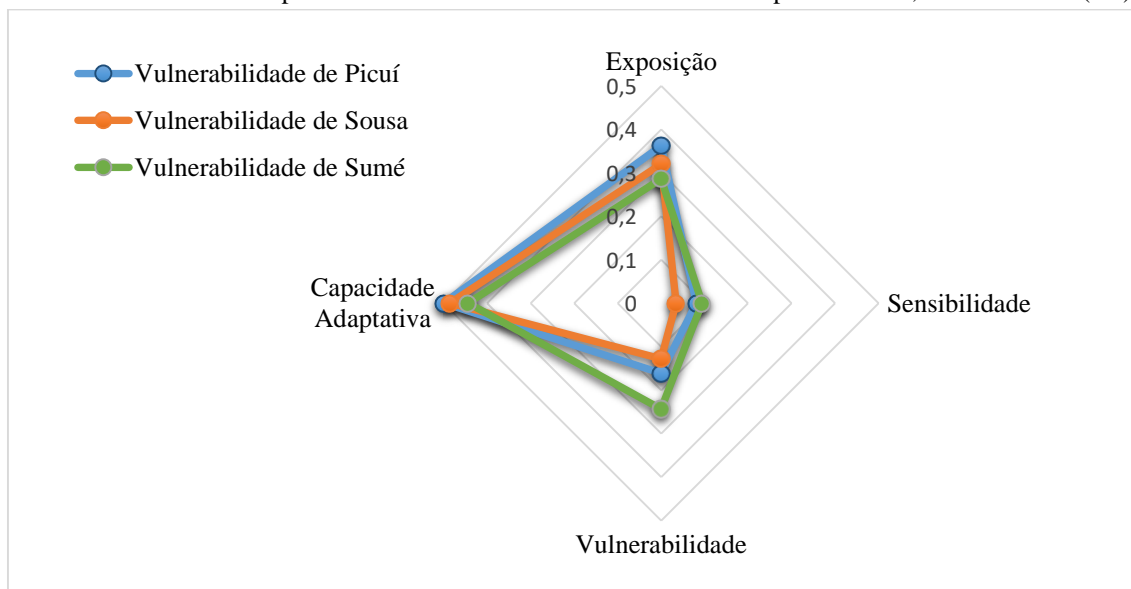
Tabela 23 - Vulnerabilidade do município de Sumé (PB).

<b>Vulnerabilidade de Sumé</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor para cálculo da Vulnerabilidade</b>
Exposição	0,2861	0,2861
Sensibilidade	0,0939	0,0939
Capacidade Adaptativa	0,4441	0,3506
<b>Vulnerabilidade</b>		<b>0,2435</b>

Fonte: autora, 2026.

No Gráfico 22 é observa-se que Sumé apresenta o maior valor de Vulnerabilidade, associado principalmente ao maior valor de Sensibilidade e menor valor de Capacidade Adaptativa em comparação aos demais municípios. Picuí ocupa posição intermediária, com valores relativamente mais elevados de Exposição, mas com Sensibilidade moderada. Por sua vez, Sousa registra o menor valor de Vulnerabilidade, resultado do menor valor no componente Sensibilidade, mesmo apresentando níveis de Exposição próximos aos demais municípios.

Gráfico 22 - Análise comparativa da Vulnerabilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé (PB).



Fonte: autora, 2026.

Os resultados de cada um dos indicadores analisados, que apresenta os valores obtidos para as diferentes dimensões avaliadas nos municípios em estudo, podem ser visualizados na Tabela 24, Tabela 25 e Tabela 26. A partir delas é possível comparar os municípios e identificar quais componentes exercem maior influência sobre o índice final.

Tabela 24 - Indicadores de vulnerabilidade à seca do município de Picuí (PB): valores brutos, normalizados e período de referência.

<b>Picuí</b>						
<b>Indicador</b>		<b>Valor obtido</b>	<b>Valor p/ cálculo</b>	<b>Fonte</b>	<b>Ano/Período</b>	
<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Exposição</b>	<b>Características do Evento</b>	0,7671	0,404	AESA	1994 - 2023
			0,35	0,5	AESA	1994 - 2023
		<b>Exposição da População</b>	18,8325	0,1883	SIDRA	2017
			30,3333	0,3033	SIDRA	2022
		<b>Exposição da Atividade</b>	13,6476	0,8635	SIDRA	2017
			1,96	0,9804	SIDRA	2017
			8,58	0,0858	SIDRA	2017
			44,19	0,5581	SIDRA	2017
			4,98	0,0498	SIDRA	2017
			0,94	0,9906	SIDRA	2017
	0,1415		0,8585	SIDRA	2017	
	0,1664	0,8336	SIDRA/EMBRAPA	2017		
	<b>Sensibilidade</b>	<b>Características Socioeconômicas</b>	1	0,000001	IBGE	2022
			0,5281	0,5281	IPEA	2010
			65,2256	0,6523	SIDRA	2022
		<b>Características Tecnológicas</b>	13,8070	0,8619	AESA	2024
			53,9289	0,4607	SIDRA	2017
			4,9628	0,9504	SIDRA	2017
		<b>Características das atividades</b>	10,5347	0,1053	SIDRA	2017
	<b>Capacidade Adaptativa</b>	<b>Capacidade humana</b>	81,7	0,817	SIDRA	2022
			20,3501	0,2035	MPS	2023
			0,608	0,608	IPEA	2010
12,1883			0,1219	IPEADATA	2023	
<b>Governabilidade</b>		19,9125	0,1991	IPEADATA	2016/2024	
		1	1	IBGE	2022	
<b>Meios de vida</b>		84,0049	0,8400	SIDRA	2017	

Fonte: autora, 2026.

Tabela 25 - Indicadores de vulnerabilidade à seca do município de Sousa (PB): valores brutos, normalizados e período de referência.

<b>Sousa</b>						
<b>Indicador</b>		<b>Valor obtido</b>	<b>Valor p/ cálculo</b>	<b>Fonte</b>	<b>Ano/Período</b>	
<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Exposição</b>	<b>Características do Evento</b>	2,2065	0,224	AESA	1994 - 2023
			0,58	0,8833	AESA	1994 - 2023
		<b>Exposição da População</b>	7,8123	0,0781	SIDRA	2017
			20,5504	0,2055	SIDRA	2022
		<b>Exposição da Atividade</b>	23,7543	0,7625	SIDRA	2017
			2,77	0,9723	SIDRA	2017
			7,32	0,0732	SIDRA	2017
			39,6	0,604	SIDRA	2017
			-	-	SIDRA	2017
			1,8	0,982	SIDRA	2017
	0,151		0,849	SIDRA	2017	
	0,1853		0,8147	SIDRA/EMBRAPA	2017	
	<b>Sensibilidade</b>	<b>Características Socioeconômicas</b>	1	0,000001	IBGE	2022
			0,5475	0,5475	IPEA	2010
			60,0112	0,6001	SIDRA	2022
		<b>Características Tecnológicas</b>	98,7015	0,0130	AESA	2024
			60,4287	0,3957	SIDRA	2017
			4,2874	0,9571	SIDRA	2017
		<b>Características das atividades</b>	-	-	SIDRA	2017
	<b>Capacidade Adaptativa</b>	<b>Capacidade humana</b>	83,33	0,8333	SIDRA	2022
18,0322			0,1803	MPS	2023	
0,668			0,668	IPEA	2010	
3,4670			0,0347	IPEADATA	2023	
<b>Governabilidade</b>		25,6382	0,2564	IPEADATA	2016/2024	
		1	1	IBGE	2022	
<b>Meios de vida</b>		93,4526	0,9345	SIDRA	2017	

Fonte: autora, 2026.

Tabela 26 - Indicadores de vulnerabilidade à seca do município de Sumé (PB): valores brutos, normalizados e período de referência.

Sumé						
Indicador		Valor obtido	Valor p/ cálculo	Fonte	Ano/Período	
Vulnerabilidade	Exposição	Características do Evento	1,0926	0,363	AESA	1994 - 2023
			0,35	0,5	AESA	1994 - 2023
		Exposição da População	17,3907	0,1739	SIDRA	2017
			22,0727	0,2207	SIDRA	2022
		Exposição da Atividade	26,8508	0,7315	SIDRA	2017
			5,06	0,9494	SIDRA	2017
			0,3	0,003	SIDRA	2017
			18,81	0,8119	SIDRA	2017
			3,04	0,0304	SIDRA	2017
			3,12	0,9688	SIDRA	2017
	0,0947		0,9053	SIDRA	2017	
	0,1504	0,8496	SIDRA/EMBRAPA	2017		
	Sensibilidade	Características Socioeconômicas	1	0,000001	IBGE	2022
			0,5055	0,5055	IPEA	2010
			62,5799	0,6258	SIDRA	2022
		Características Tecnológicas	8,4640	0,9154	AESA	2024
			10,7182	0,8928	SIDRA	2017
			1,8784	0,9812	SIDRA	2017
		Características das atividades	13,0812	0,1308	SIDRA	2017
	Capacidade Adaptativa	Capacidade humana	82,82	0,8282	SIDRA	2022
16,1149			0,1611	MPS	2023	
0,627			0,627	IPEA	2010	
8,7594			0,0876	IPEADATA	2023	
Governabilidade		23,5845	0,2358	IPEADATA	2016/2024	
		0,5288	0,5288	IBGE	2022	
Meios de vida		84,7333	0,8473	SIDRA	2017	

Fonte: autora, 2026.

#### 7.4.5. Análise temporal: Índice de Vulnerabilidade em 2014 x Índice de Vulnerabilidade em 2024.

Com o objetivo de evidenciar as mudanças ocorridas nos componentes de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa ao longo do tempo, procedeu-se à comparação entre os indicadores deste estudo com os resultados obtidos por Rosendo (2014) e os resultados obtidos na presente análise. Essa abordagem permite avaliar a evolução recente das condições socioambientais e produtivas locais, bem como

identificar avanços, retrocessos e permanências nos fatores que condicionam a vulnerabilidade à seca. Destaca-se que, diferentemente dos componentes de Exposição e Sensibilidade, para os quais valores mais elevados indicam maior vulnerabilidade, o Índice de Capacidade Adaptativa apresenta relação inversa, de modo que valores mais altos refletem melhor desempenho adaptativo e maior potencial de resposta aos impactos climáticos.

Para facilitar a interpretação dos resultados, os valores foram destacados por cores na Tabela 27, Tabela 28 e Tabela 29: em verde, os indicadores que apresentaram desempenho relativamente mais favorável atualmente; em vermelho, aqueles que evidenciaram piora; e, em amarelo, os indicadores que permaneceram inalterados entre as duas análises. Cabe destacar que o Índice de Inequidade (Gini) e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) permaneceram com os mesmos valores nas duas análises em virtude da utilização do mesmo dado de referência, uma vez que não foram localizadas atualizações mais recentes para esses indicadores. Essa representação visual possibilita uma leitura das transformações ocorridas no território, contribuindo para uma compreensão integrada da dinâmica da vulnerabilidade municipal.

Tabela 27 - Atualização dos indicadores de vulnerabilidade à seca em Picuí (PB): comparação entre o estudo de Rosendo (2014) e a presente análise.

<b>Picuí</b>					
<b>Indicador</b>		<b>Indicadores</b>		<b>Rosendo (2014)</b>	<b>Florêncio (2026)</b>
<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Exposição</b>	<b>Características do Evento</b>	Índice de Anomalia de Chuva (RAI)	0,4196	0,404
			Índice de Aridez	0,5113	0,5
		<b>Exposição da População</b>	Força de trabalho que depende da agropecuária (%)	0,3335	0,1883
			População rural (%)	0,3349	0,3033
		<b>Exposição da Atividade</b>	Estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada (%)	0,998	0,8635
			Lavouras permanentes (%)	0,9509	0,9804
			Lavouras temporárias (%)	0,467	0,0858
			Pastagens naturais (%)	0,4673	0,5581
			Pastagem plantada degradada (%)	0,0037	0,0498
			Pastagem plantada em boas condições (%)	0,9908	0,9906
			Exposição das culturas agropecuárias	0,7017	0,8585
			Exposição dos rebanhos	0,8963	0,8336
	<b>Sensibilidade</b>	<b>Características Socioeconômicas</b>	Rendimento nominal médio <i>per capita</i> (R\$)	0,2321	0,000001
			Índice de Inequidade (Gini)	0,5281	0,5281
			Força de trabalho não ocupada (%)	0,4144	0,6523
		<b>Características Tecnológicas</b>	Volume de água atingindo nos reservatórios ao fim do quadrimestre chuvoso, no ano de referência (%)	0,4665	0,8619
			Propriedades que utilizam defensivos agrícolas (%)	0,5405	0,4607
			Propriedades que usam mecanização agrícola (%)	0,9808	0,9504
	<b>Características das Atividades</b>	Áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para pecuária e agricultura (%)	0,0857	0,1053	
	<b>Capacidade Adaptativa</b>	<b>Capacidade humana</b>	Taxa de alfabetização (%)	0,7131	0,817
			População que recebe algum tipo de Benefício do MPS (%)	0,2229	0,2035
			Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	0,608	0,608
			Porcentagem do PIB investido em Educação e Cultura (%)	0,0830	0,1219
		<b>Governabilidade</b>	População atendida por Programas Sociais no município (%)	0,1616	0,1991
			Produto Interno Bruto Municipal per capita (R\$)	0,7490	1
		<b>Meios de vida</b>	Força de trabalho que independe da agropecuária (%)	0,6066	0,8401

Nota: Os indicadores que apresentaram desempenho mais favorável atualmente estão destacados pela cor verde; aqueles que evidenciaram piora estão destacados pela cor vermelha; e, em amarelo, estão os indicadores que permaneceram inalterados entre as duas análises.

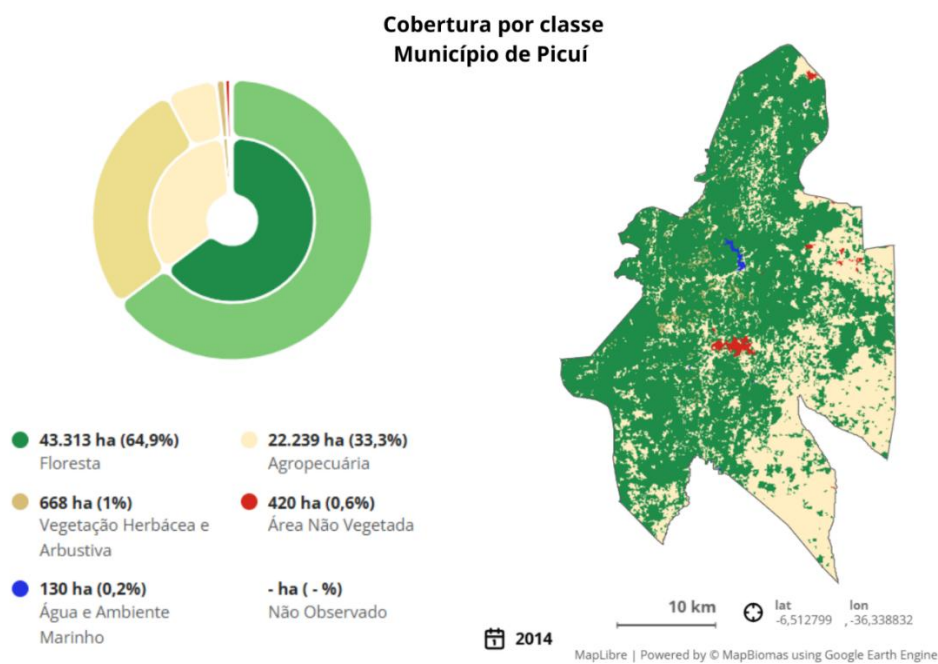
Fonte: Rosendo (2014) – Adaptado pela autora, 2026.

Para o município de Picuí, observa-se redução moderada dos índices associados à Exposição, particularmente nos componentes de População Exposta. Esse resultado indica menor quantidade populacional diretamente vinculada às atividades agropecuárias, sugerindo mudanças graduais na estrutura ocupacional do município.

No componente Exposição da Atividade, observa-se predominância de indicadores com desempenho menos favorável em relação ao estudo de Rosendo (2014), evidenciando aumento relativo da pressão associada às atividades produtivas no município de Picuí. Destacam-se, sobretudo, o crescimento da “Exposição das culturas agropecuárias” e da “Pastagem plantada degradada (%)”, o que indica persistente dependência de sistemas agrícolas sensíveis à variabilidade climática. Embora alguns indicadores apresentem melhoria pontual, o conjunto dos resultados sugere que a estrutura produtiva local continua exercendo papel central na intensificação da exposição à seca.

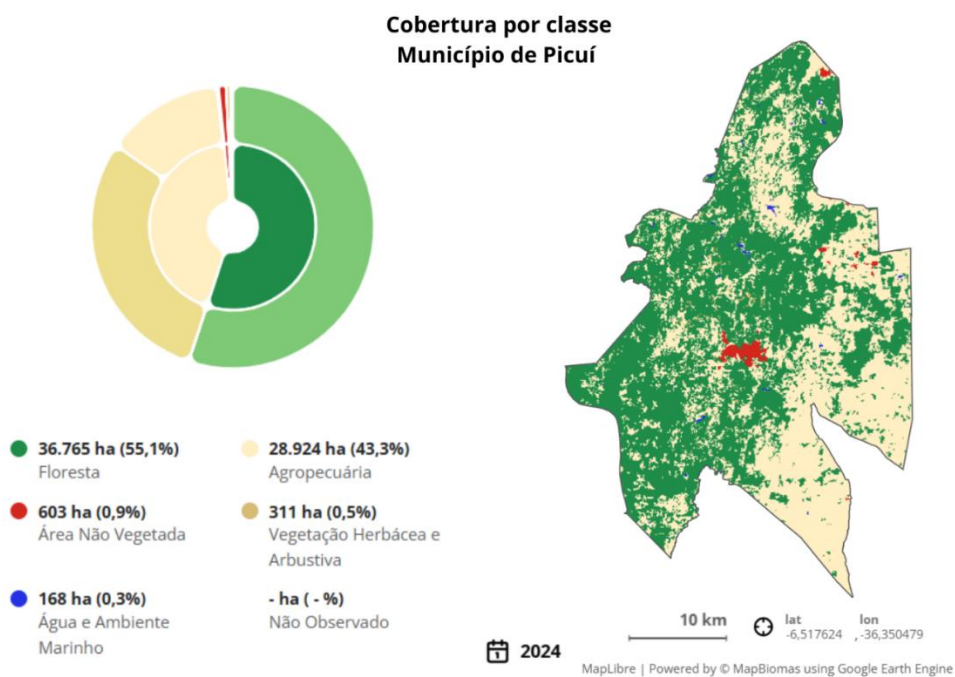
Essa tendência é corroborada pela análise dos mapas de uso e cobertura da terra de 2014 (Figura 27) e 2024 (Figura 28), que evidenciam expansão expressiva da agropecuária, de aproximadamente 33,3% para 43,3% do território municipal, acompanhada por redução proporcional da cobertura florestal, de 64,9% para 55,1%, indicando conversão direta de áreas naturais em espaços produtivos. Adicionalmente, observa-se aumento das áreas não vegetadas (de 0,6% para 0,9%), sugerindo intensificação de superfícies expostas e processos localizados de degradação do solo.

Figura 27 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Picuí (PB), em 2014.



Fonte: MapBiomas (2026).

Figura 28 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Picuí (PB), em 2024.



Fonte: MapBiomas (2026).

No que se refere à Sensibilidade, o “Rendimento nominal médio *per capita* (R\$)” apresentou melhor valor na atual pesquisa, refletindo a atualização metodológica, enquanto a “Força de trabalho não ocupada” aumentou, indicando maior instabilidade do

mercado de trabalho local. Por outro lado, o indicador “Volume de água armazenado nos reservatórios ao final do quadrimestre chuvoso” apresentou aumento expressivo, evidenciando uma piora pontual na disponibilidade hídrica. Em 2023, a CAGEPA anunciou sobre a reativação do sistema de abastecimento de água no município de Picuí devido a uma reforma total dos equipamentos e a grande recarga de água no açude Caraibeira (CAGEPA, 2023). Entretanto, foi identificado na pesquisa que o açude Caraibeiras encontra-se sem volume de água (AESAs, 2026). Além disso, observou-se aumento das “Áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para uso produtivo” reforçando a persistência de limitações ambientais.

A Capacidade Adaptativa apresentou avanços em diversos indicadores. A “Taxa de alfabetização” aumentou, assim como a “Porcentagem do PIB investido em Educação e Cultura”, sugerindo fortalecimento do capital humano. Observa-se também aumento do “PIB municipal *per capita*” e maior proporção da “Força de trabalho independente da agropecuária”, indicando maior diversificação ocupacional e potencial redução da dependência direta. Adicionalmente, houve aumento da “População atendida por programas sociais”, refletindo maior cobertura de políticas públicas, ainda que isso também sinalize a permanência de vulnerabilidades sociais estruturais.

Tabela 28 - Atualização dos indicadores de vulnerabilidade à seca em Sousa (PB): comparação entre o estudo de Rosendo (2014) e a presente análise.

<b>Sousa</b>						
<b>Indicador</b>		<b>Indicadores</b>	<b>Rosendo (2014)</b>	<b>Florêncio (2026)</b>		
<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Exposição</b>	<b>Características do Evento</b>	Índice de Anomalia de Chuva (RAI)	0,1211	0,224	
			Índice de Aridez	0,5315	0,8833	
		<b>Exposição da População</b>	Força de trabalho que depende da agropecuária (%)	0,1541	0,0781	
			População rural (%)	0,2116	0,2055	
		<b>Exposição da Atividade</b>	Estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada (%)	0,9449	0,7625	
			Lavouras permanentes (%)	0,9414	0,9723	
			Lavouras temporárias (%)	0,2187	0,0732	
			Pastagens naturais (%)	0,2941	0,604	
			Pastagem plantada degradada (%)	0,0027	-	
			Pastagem plantada em boas condições (%)	0,9938	0,982	
	Exposição das culturas agropecuárias		0,8281	0,849		
	Exposição dos rebanhos		0,8904	0,8147		
	<b>Sensibilidade</b>	<b>Características Socioeconômicas</b>	Rendimento nominal médio <i>per capita</i> (R\$)	0,2321	0,000001	
			Índice de Inequidade (Gini)	0,5281	0,5475	
			Força de trabalho não ocupada (%)	0,4144	0,6001	
		<b>Características Tecnológicas</b>	Volume de água atingindo nos reservatórios ao fim do Quadrimestre chuvoso, no ano de referência (%)	0,4665	0,0130	
			Propriedades que utilizam defensivos agrícolas (%)	0,5405	0,3957	
			Propriedades que usam mecanização agrícola (%)	0,9808	0,9571	
		<b>Características das atividades</b>	Áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para pecuária e agricultura (%)	0,0857	-	
		<b>Capacidade Adaptativa</b>	<b>Capacidade humana</b>	Taxa de alfabetização (%)	0,7242	0,8333
				População que recebe algum tipo de Benefício do MPS (%)	0,2938	0,1803
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal			0,668	0,668	
	Porcentagem do PIB investido em Educação e Cultura (%)			0,0207	0,0347	
	<b>Governabilidade</b>		População atendida por Programas Sociais no município (%)	0,1963	0,2564	
			Produto Interno Bruto Municipal per capita (R\$)	1	1	
	<b>Meios de vida</b>		Força de trabalho que independe da agropecuária (%)	0,8458	0,9345	

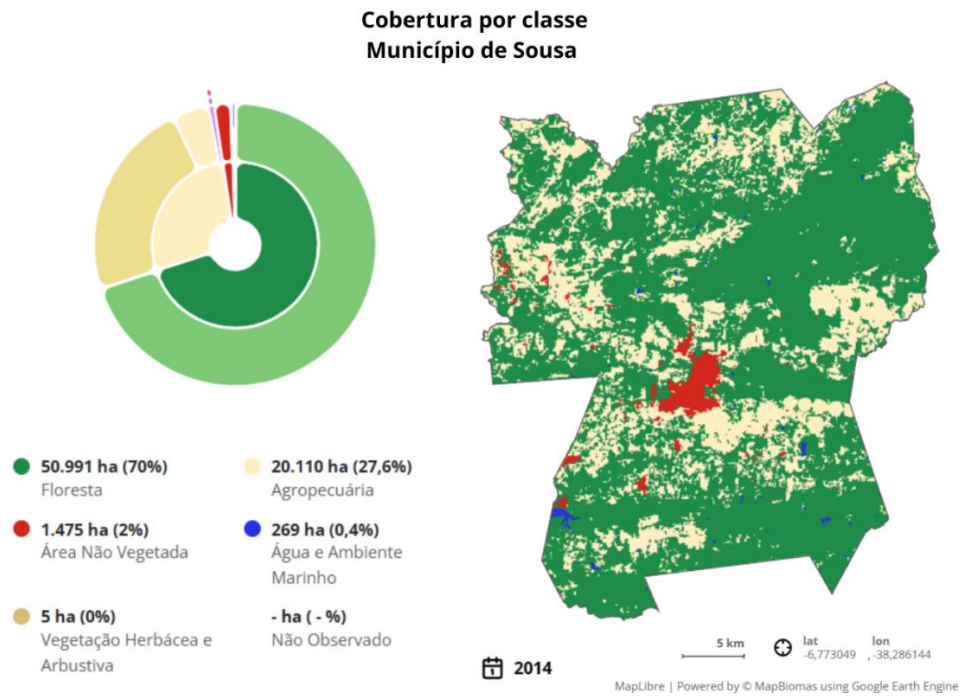
Nota: Os indicadores que apresentaram desempenho mais favorável atualmente estão destacados pela cor verde; aqueles que evidenciaram piora estão destacados pela cor vermelha; e, em amarelo, estão os indicadores que permaneceram inalterados entre as duas análises.

Fonte: Rosendo (2014) – Adaptado pela autora, 2026.

No município de Sousa, observa-se agravamento em alguns indicadores de Exposição, nas Características do Evento houve aumento do “Índice de Anomalia de Chuva” e do “Índice de Aridez”, indicando intensificação das condições climáticas desfavoráveis. Em contrapartida, a Exposição da População apresentou redução, expressa pela diminuição da “Força de trabalho dependente da agropecuária” e pela leve queda da população rural, sugerindo menor parcela populacional diretamente vinculado às atividades sensíveis à variabilidade pluviométrica.

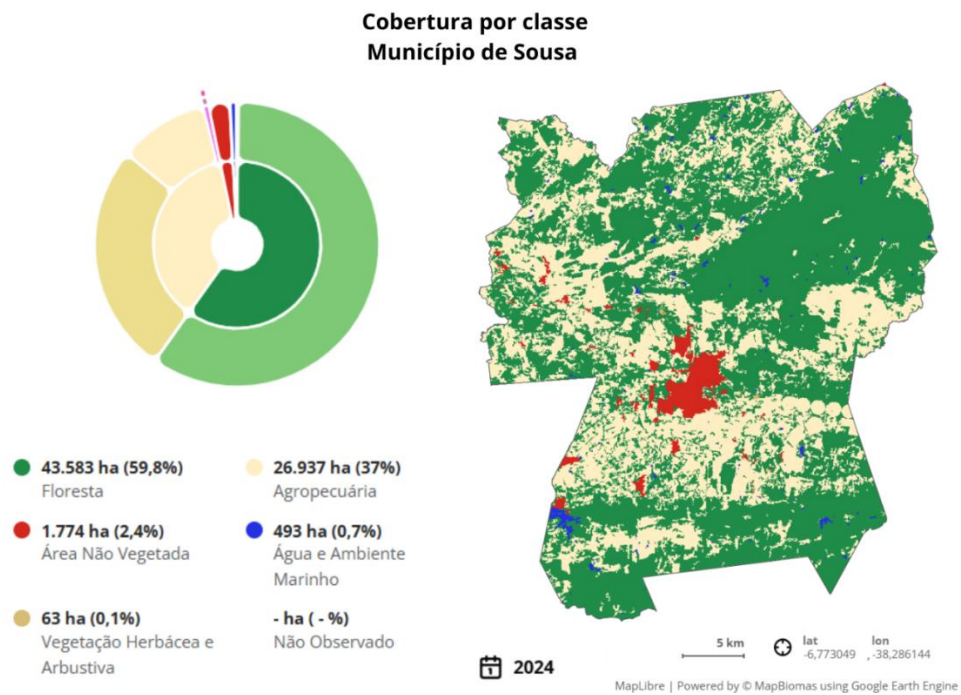
Já na Exposição da Atividade, os resultados revelam reorganização do uso produtivo do território. Houve redução do indicador “Estabelecimentos que utilizam agricultura irrigada” e das “Lavouras temporárias”, mas aumento no indicador das “Lavouras permanentes” e das “Pastagens naturais”, além da elevação da “Exposição das culturas agropecuárias”. Embora os mapas de cobertura e uso da terra do município de Sousa para os anos de 2014 e 2024, apresentados nas Figuras 29 e 30 respectivamente, não representem diretamente esses indicadores específicos, eles permitem visualizar a dinâmica espacial das principais classes de ocupação do solo, evidenciando a redução da cobertura florestal (de 70% para 59,8%) e a expansão das áreas destinadas à agropecuária (de 27,6% para 37%), além do aumento das áreas não vegetadas.

Figura 29 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Sousa (PB), em 2014.



Fonte: MapBiomas (2026).

Figura 30 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Sousa (PB), em 2024.



Fonte: MapBiomas (2026).

Essas mudanças espaciais refletem o avanço das atividades produtivas sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa, especialmente no entorno da sede urbana e em setores centrais do município, indicando maior pressão antrópica sobre o território.

No componente Sensibilidade, observa-se piora das condições socioeconômicas, expressa pelo aumento da “Força de trabalho não ocupada” e pela elevação do “Índice de Inequidade”, indicando intensificação das vulnerabilidades sociais. Por outro lado, o “Rendimento nominal médio *per capita*” apresentou valor normalizado extremamente baixo no período recente, o que representa desempenho mais favorável nesse indicador. Do ponto de vista tecnológico, o “Volume de água armazenado nos reservatórios ao final do quadrimestre chuvoso”, apresentou resultado mais favorável atualmente.

Em relação à Capacidade Adaptativa, os resultados não indicam avanço generalizado. A “Taxa de alfabetização” apresentou aumento em termos numéricos, o que, na padronização adotada, corresponde a melhora do desempenho do componente. Comportamento semelhante é observado para o “Investimento em educação e cultura”, cobertura de programas sociais e a “Força de trabalho independente da agropecuária”, indicando avanços relativos quando comparados aos resultados obtidos por Rosendo (2014). O “IDH municipal” permaneceu inalterado entre os dois períodos analisados, enquanto o “PIB *per capita*” manteve-se no patamar máximo normalizado, sinalizando estabilidade nesse indicador.

Tabela 29 - Atualização dos indicadores de vulnerabilidade à seca em Sumé (PB): comparação entre o estudo de Rosendo (2014) e a presente análise.

Sumé						
Indicador		Indicadores	Rosendo (2014)	Florêncio (2024)		
Vulnerabilidade	Exposição	Características do Evento	Índice de Anomalia de Chuva (RAI)	0,7803	0,363	
			Índice de Aridez	0,5	0,5	
		Exposição da população	Força de trabalho que depende da agropecuária (%)	0,3524	0,1739	
			População rural (%)	0,238	0,2207	
		Exposição da atividade	Estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada (%)	0,9958	0,7315	
			Lavouras permanentes (%)	0,9997	0,9494	
			Lavouras temporárias (%)	0,1272	0,003	
			Pastagens naturais (%)	0,5273	0,8119	
			Pastagem plantada degradada (%)	0,0019	0,0304	
			Pastagem plantada em boas condições (%)	0,9728	0,9688	
	Exposição das culturas agropecuárias		0,6892	0,9053		
	Exposição dos rebanhos		0,8552	0,8496		
	Sensibilidade	Características Socioeconômicas	Rendimento nominal médio <i>per capita</i> (R\$)	0,3290	0,000001	
			Índice de Inequidade (Gini)	0,5055	0,5055	
			Força de trabalho não ocupada (%)	0,3849	0,6258	
		Características Tecnológicas	Volume de água atingindo nos reservatórios ao fim do Quadrimestre chuvoso, no ano de referência (%)	0,284	0,9153	
			Propriedades que utilizam defensivos agrícolas (%)	0,8436	0,8928	
			Propriedades que usam mecanização agrícola (%)	0,9903	0,9812	
		Características das atividades	Áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas para pecuária e agricultura (%)	0,0267	0,1308	
		Capacidade Adaptativa	Capacidade humana	Taxa de alfabetização (%)	0,6973	0,8282
				População que recebe algum tipo de Benefício do MPS (%)	0,2108	0,1611
				Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	0,627	0,627
	Porcentagem do PIB investido em Educação e Cultura (%)			0,0472	0,0876	
	Governabilidade		População atendida por Programas Sociais no município (%)	0,1846	0,2358	
			Produto Interno Bruto Municipal per capita (R\$)	0,1932	0,5288	
	Meios de vida		Força de trabalho que independe da agropecuária (%)	0,6476	0,8473	

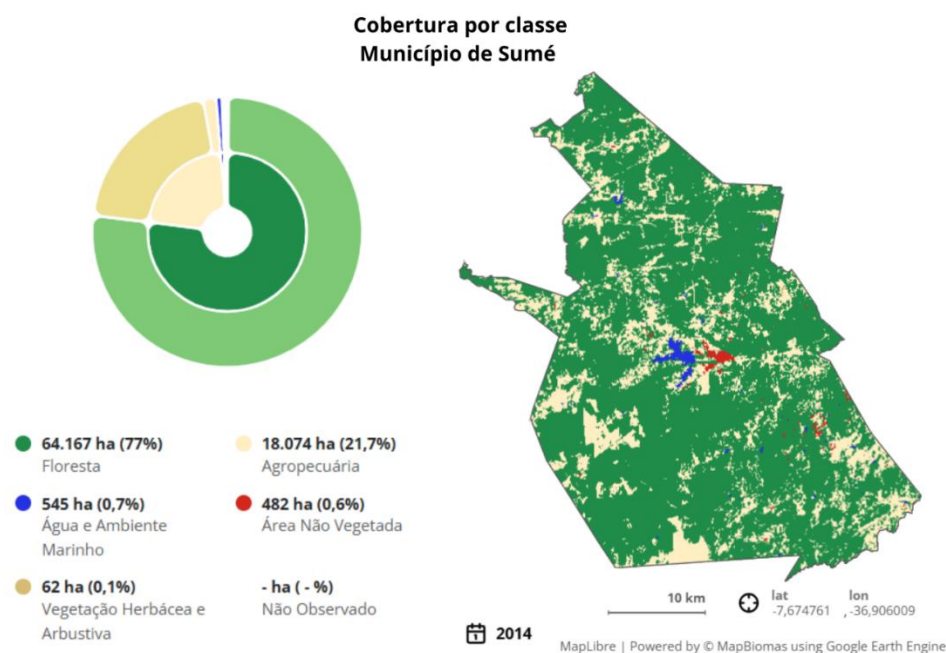
Nota: Os indicadores que apresentaram desempenho mais favorável atualmente estão destacados pela cor verde; aqueles que evidenciaram piora estão destacados pela cor vermelha; e, em amarelo, estão os indicadores que permaneceram inalterados entre as duas análises.

Fonte: Rosendo (2014) – Adaptado pela autora, 2026.

No componente Exposição, observa-se redução expressiva da Exposição da População, evidenciada pela diminuição da “Força de trabalho dependente da agropecuária” e pela leve redução da “População rural”. Esse comportamento indica menor proporção da população diretamente sujeita aos impactos da seca. No que se refere às Características do Evento, o “Índice de Anomalia de Chuva” apresentou redução, enquanto o “Índice de Aridez” manteve-se, sugerindo menor intensidade relativa do stress climático no período mais recente. Por outro lado, a Exposição da Atividade apresentou aumento em quatro indicadores, indicando maior pressão produtiva sobre o território.

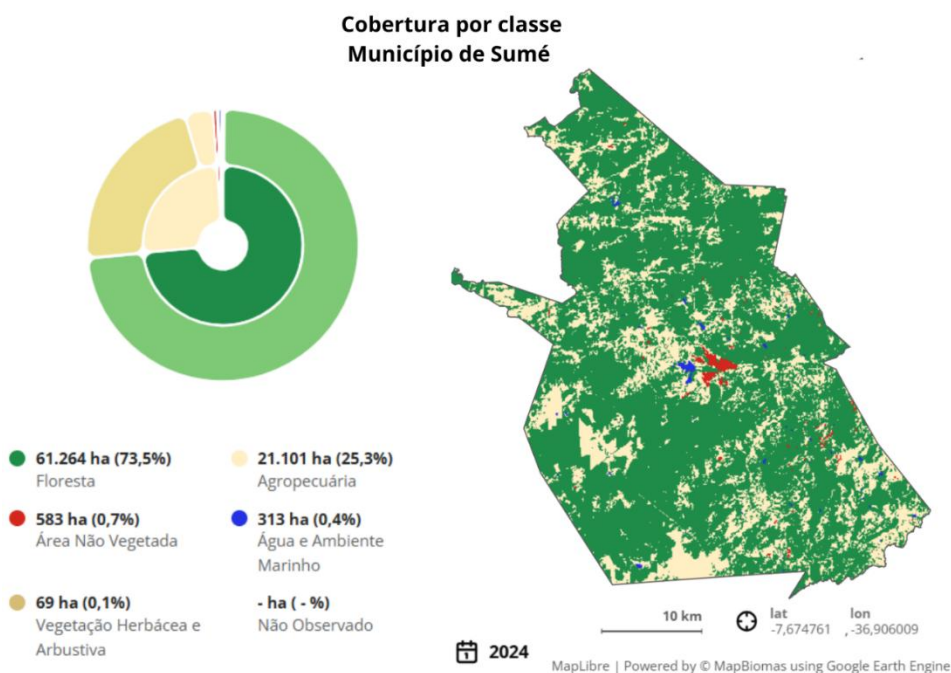
Na Figura 31 e Figura 32 é possível observar as transformações no uso e cobertura da terra no município de Sumé. Embora esses mapas não representem diretamente os indicadores do Índice de Vulnerabilidade, eles permitem visualizar, no território, a intensificação do uso produtivo, especialmente pela ampliação das áreas agropecuárias e pela redução relativa da cobertura florestal.

Figura 31 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Sumé (PB), em 2014.



Fonte: MapBiomas (2026).

Figura 32 - Distribuição das classes de cobertura e uso da terra no município de Sumé (PB), em 2024.



Fonte: MapBiomas (2026).

No componente Sensibilidade, observa-se agravamento, principalmente, das Condições Tecnológicas. Nas Condições Socioeconômicas, a “Força de trabalho não ocupada” apresentou aumento significativo, enquanto o Índice de Inequidade manteve-se

elevado. Do ponto de vista tecnológico, houve aumento expressivo do indicador referente ao “Volume de água atingindo os reservatórios ao final do quadrimestre chuvoso”, o que, na métrica adotada, representa piora da condição hídrica. Ademais, observou-se aumento das “Áreas agrícolas degradadas ou inapropriadas” e elevação do uso de defensivos agrícolas, reforçando a maior sensibilidade ambiental e produtiva do município.

Em relação à Capacidade Adaptativa, os resultados indicam avanços importantes. A “Taxa de alfabetização” apresentou redução, indicando melhora, assim como a “População que recebe benefícios do MPS”, sugerindo fortalecimento do capital humano. Observa-se ainda aumento do “Investimento em educação e cultura”, ampliação da cobertura de programas sociais e crescimento expressivo da “Força de trabalho independente da agropecuária”, indicando maior diversificação dos meios de vida. O aumento do PIB municipal *per capita* também reforça a melhoria da base econômica local.

Por fim, a Tabela 30 apresenta os valores finais dos componentes de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, bem como os valores obtidos para o Índice de Vulnerabilidade nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, comparando os resultados apresentados por Rosendo (2014) com aqueles obtidos na presente pesquisa.

Tabela 30 - Comparação do Índice de Vulnerabilidade e dos componentes de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa entre Rosendo (2014) e Florêncio (2026) nos municípios analisados.

Município	Exposição		Sensibilidade		Capacidade Adaptativa		Vulnerabilidade	
	Rosendo (2014)	Florêncio (2026)	Rosendo (2014)	Florêncio (2026)	Rosendo (2014)	Florêncio (2026)	Rosendo (2014)	Florêncio (2026)
<b>Picuí</b>	0,3904	0,3618	0,2515	0,0811	0,3982	0,4999	0,346	0,161
<b>Sousa</b>	0,2451	0,3199	0,1744	0,0343	0,4437	0,4862	0,287	0,128
<b>Sumé</b>	0,3802	0,2861	0,1663	0,0939	0,3155	0,4441	0,297	0,244

Fonte: Rosendo (2014) – Adaptado pela autora, 2026.

## 8. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar a ocorrência de eventos extremos de precipitação pluviométrica, por meio dos índices de Dias Consecutivos Úmidos (DCU) e Dias Consecutivos Secos (DCS), bem como avaliar a vulnerabilidade à seca nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, inseridos na região semiárida do estado da Paraíba. A proposta buscou compreender o comportamento desses eventos ao longo do tempo e,

simultaneamente, caracterizar as condições socioambientais dos territórios onde eles se manifestam, integrando a dinâmica climática às fragilidades e capacidades locais.

A articulação entre a análise pluviométrica e o índice de vulnerabilidade permitiu uma leitura mais abrangente da problemática da seca, evidenciando que os impactos não decorrem apenas da variabilidade climática, mas também da forma como os municípios estão estruturados do ponto de vista social, econômico e institucional. Os resultados mostram que, embora existam diferenças entre os municípios, todos apresentam algum grau de exposição aos extremos climáticos, associado a limitações adaptativas que podem potencializar os efeitos da seca, especialmente sobre as atividades produtivas e as populações mais dependentes dos recursos naturais.

Na análise do Índice de DCU e do Índice de DCS, obteve-se que os três municípios apresentam eventos chuvosos de curta duração, com elevada variabilidade interanual e baixa ocorrência de períodos úmidos prolongados. Observa-se ainda que volumes elevados podem ocorrer tanto em chuvas prolongadas quanto em eventos intensos e concentrados, sobretudo em Sumé, onde a precipitação tende a se distribuir em poucos dias, favorecendo escoamento superficial e reduzindo a infiltração.

A análise dos DCU subsequentes aos maiores DCS mostra baixa capacidade de recuperação hídrica após períodos secos, especialmente em Picuí e Sumé, cujos acumulados representam pequena parcela do total anual.

A análise dos DCS evidencia diferenças claras entre os municípios quanto à intensidade, persistência e tendência das estiagens. Enquanto Picuí apresenta a maior média anual de DCS, indicando maior recorrência de períodos secos prolongados ao longo da série histórica, o evento individual mais extremo ocorreu em Sumé, com 305 dias consecutivos sem precipitação significativa entre 2016 e 2017, caracterizando um episódio de seca excepcional.

Embora Picuí e Sousa apresentem elevada variabilidade interanual, os testes estatísticos não indicaram tendências significativas nesses municípios, sugerindo que as flutuações observadas estão associadas principalmente à variabilidade natural do regime pluviométrico. Em contraste, Sumé apresentou tendência crescente estatisticamente significativa no número de DCS, com incremento médio de aproximadamente 1,87 dias por ano, evidenciando intensificação progressiva dos períodos secos ao longo do tempo, especialmente a partir da década de 2010. Os resultados do teste de Pettitt reforçam esse comportamento ao indicar uma possível mudança no regime de DCS em Sumé a partir de 2014.

Esse comportamento observado em Sumé torna-se ainda mais significativo quando analisado em conjunto com os resultados do Índice de Vulnerabilidade. O município que apresentou os sinais mais evidentes de intensificação dos períodos secos a partir das análises de DCS e DCU foi também aquele que registrou o maior nível de vulnerabilidade à seca entre os municípios analisados.

A análise integrada dos componentes de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa evidencia que, embora Picuí, Sousa e Sumé compartilhem fatores estruturais semelhantes associados à seca, a forma como esses elementos se combina no território resulta em níveis distintos de vulnerabilidade. As diferenças observadas não estão relacionadas aos fatores em si, mas à intensidade com que cada componente atua em cada município.

Os municípios de Picuí e Sousa apresentam vulnerabilidades associadas, principalmente, à estrutura produtiva e à organização das atividades econômicas, enquanto em Sumé a pressão climática assume papel mais determinante. A sensibilidade emerge como o componente mais crítico no período recente, especialmente em função das limitações tecnológicas e da dependência de infraestruturas hídricas pouco resilientes. Ainda que intervenções, como o aporte hídrico externo, atenuem temporariamente os impactos da seca em alguns municípios, esses mecanismos não eliminam a problemática estrutural já existente, sobretudo quando associados à degradação ambiental e à intensificação do uso produtivo do solo.

A capacidade adaptativa, embora apresente sinais de fortalecimento em relação ao período analisado por Rosendo (2014), permanece insuficiente para promover uma redução consistente da vulnerabilidade.

A comparação temporal reforça que a vulnerabilidade à seca nos municípios analisados não seguiu uma trajetória linear de redução. Ao contrário, o período recente é marcado pela coexistência de avanços pontuais e novos fatores de agravamento, especialmente relacionados à intensificação da pressão produtiva e ao aprofundamento de fragilidades socioeconômicas. Esse cenário evidencia que mudanças isoladas em um ou outro componente não são suficientes para alterar o padrão dominante de vulnerabilidade.

Em Picuí, a combinação entre elevada recorrência de períodos secos, baixa persistência das chuvas e estrutura produtiva sensível às variações climáticas indica um cenário de vulnerabilidade fortemente associado à exposição e às limitações adaptativas. Ainda que ocorram episódios chuvosos pontuais, sua curta duração e distribuição

irregular reduzem a eficiência da reposição hídrica, mantendo o município suscetível aos impactos da seca.

No município de Sousa, embora os períodos secos sejam recorrentes, observa-se maior capacidade de amortecimento dos impactos da seca, associada à menor sensibilidade e ao suporte de infraestrutura hídrica externa. A ocorrência de eventos chuvosos mais distribuídos no tempo contribui para reduzir os efeitos imediatos da estiagem, resultando em menor vulnerabilidade relativa quando comparado aos demais municípios.

Por sua vez, Sumé apresenta um cenário marcado pela intensificação dos períodos secos ao longo do tempo e pela ocorrência de eventos chuvosos concentrados em curto intervalo. Essa combinação, aliada a limitações tecnológicas e institucionais, resulta em maior fragilidade estrutural frente às pressões climáticas, refletindo o maior nível de vulnerabilidade entre os municípios analisados.

Logo, os resultados evidenciam que a vulnerabilidade à seca nos municípios estudados resulta menos da ocorrência isolada de eventos extremos e mais da interação entre a irregularidade climática e as limitações estruturais dos territórios, reforçando a importância de compreender a vulnerabilidade como produto da relação entre a dinâmica climática e as condições sociais, ambientais e econômicas locais, bem como a necessidade de estratégias de adaptação integradas, territorialmente diferenciadas e de longo prazo.

## **9. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Sugere-se, para investigações futuras, o aprofundamento da análise da variabilidade intra-anual das chuvas, incorporando indicadores complementares aos DCS e DCU, como intensidade das precipitações, distribuição mensal e índices padronizados de anomalia pluviométrica. A inclusão dessas métricas pode contribuir para uma compreensão mais integrada da dinâmica hídrica e de seus efeitos sobre os sistemas produtivos locais.

Além disso, recomenda-se avaliar a possibilidade de incorporar os próprios índices DCS e DCU como indicadores diretos na composição do Índice de Vulnerabilidade, uma vez que os resultados deste estudo evidenciaram que municípios com maior intensidade e persistência de períodos secos, como observado em Sumé, também tendem a apresentar maiores níveis de vulnerabilidade.

Recomenda-se também a ampliação da escala espacial da análise, contemplando outros municípios do semiárido paraibano ou mesmo recortes microrregionais, de modo a identificar padrões territoriais de vulnerabilidade e possíveis zonas de maior sensibilidade climática. A comparação entre diferentes contextos socioeconômicos pode fortalecer a robustez do Índice de Vulnerabilidade aplicado.

Destaca-se ainda a importância da disponibilidade de bancos de dados geográficos atualizados e sistematizados, condição fundamental para o avanço de estudos dessa natureza. A ausência ou desatualização de informações espaciais pode limitar a precisão das análises e dificultar a replicação da metodologia em outras áreas de estudo ou em diferentes períodos históricos, evidenciando a necessidade de investimento contínuo na organização e disponibilização de dados territoriais.

Apona-se a necessidade da incorporação de dados hidrológicos mais detalhados, incluindo informações sobre infraestrutura hídrica e acesso a tecnologias de captação de água de chuva. Nesse contexto, observou-se a ausência de dados atualizados sobre cisternas e poços nos municípios analisados, embora essas informações sejam de suma importância para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos locais. No caso dos poços, a situação é ainda mais preocupante, pois muitos são perfurados de forma privada, sem controle ou monitoramento adequado, o que pode gerar impactos e prejuízos ambientais futuros.

Por fim, recomenda-se que os métodos aplicados neste estudo sejam considerados no âmbito da gestão pública, especialmente no planejamento de estratégias voltadas à convivência com a seca. As informações sobre os padrões de ocorrência de DCS, DCU e os níveis de vulnerabilidade identificados podem subsidiar a definição de calendários agrícolas mais adequados às condições climáticas locais, orientar políticas de planejamento da produção e contribuir para o fortalecimento de ações relacionadas à segurança alimentar.

Além disso, a aplicação dessa metodologia pode apoiar a formulação de estratégias de gestão dos recursos hídricos, o planejamento do uso do solo e a priorização de investimentos em áreas ou setores identificados como mais críticos nas análises realizadas, especialmente no que se refere à infraestrutura hídrica e às tecnologias de captação e armazenamento de água, bem como à implementação de medidas de adaptação climática no âmbito municipal, como a implementação de medidas de adaptação climática no âmbito municipal.

## Referências

- AB'SABER, Aziz Nacib. **O domínio morfoclimático semiárido das caatingas brasileiras**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1974. 39 p. (Série Didática; n. 43).
- ABUWAER, Nisreen; ULLAH, Safi; AL-GHAMDI, Sami G. Building Climate Resilience Through Urban Planning: strategies, challenges, and opportunities. **Sustainable Cities In A Changing Climate**, [S.L.], p. 185-206, 29 nov. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781394201532.ch12>.
- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESA). **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos do Estado da Paraíba – 2023**. João Pessoa: AESA, 2023. Disponível em: <https://www.aesa.pb.gov.br/assets/uploads/2024/09/Relatorio-Ano-2023.pdf>
- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESA). **Volume dos açudes**. João Pessoa, PB. Disponível em: <https://www.aesa.pb.gov.br/volume-dos-acudes/>. Acesso em: 02 fev. 2026.
- AHMAD, Latief; KANTH, Raihana Habib; PARVAZE, Sabah; MAHDI, Syed Sheraz. Measurement of precipitation. In: AHMAD, Latief et al. (org.). **Experimental agrometeorology: a practical manual**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 55–66.
- ALMEIDA, Hermes Alves de; CABRAL JÚNIOR, Jório Bezerra. Variabilidades sazonais e interdecadais da chuva nas microrregiões geográficas do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 846–858, out. 2014. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.5.p846-858>.
- ALVALÁ, R.C.S.; CUNHA, A.P.M.A.; BRITO, S.S.B.; SELUCHI, M.E.; MARENGO, J.A.; et al. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91 (Suppl. 1), e20170209, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>
- ALVES, Joaquim. **História das secas: século XVII a XIX**. Edição especial para o Acervo Virtual Oswaldo Lamartine de Faria. Mossoró: Coleção Mossoroense, [s.d.]. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/423072442/Vdocuments-site-Livrojoaquim-Alveshistoria-Das-Secas>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- ALVES, Lincoln; FIRPO, Feldman; BETTOLLI, Maria; HASSON, Shabeh ul; GUERRON, Oscar; AVILÉS, Alex; LLOPART, Marta. **Projected changes in the frequency of compound events over tropical Brazil in CORDEX-CORE simulations**. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3651029/v1>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- ANGELOTTI, Francislene; SIGNOR, Diana; GIONGO, Vanderlise. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: experiências e oportunidades para o desenvolvimento (climate change in the brazilian semiarid. **Revista Brasileira de**

**Geografia Física**, [S.L.], v. 8, p. 484-495, 2 dez. 2015. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p484-495>.

AQUINO, Afonso Rodrigues de; PALETTA, Francisco Carlos; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de (org.). **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Editora Blucher, 2017. 112 p. ISBN 978-85-8039-242-5. Disponível em: [https://pdf.blucher.com.br/openaccess/9788580392425/completo.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://pdf.blucher.com.br/openaccess/9788580392425/completo.pdf?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 15 jun. 2025.

ARAÚJO, Sérgio Murilo Santos de. AS SECAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS SOBRE OS RECURSOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 52–58, 2021. DOI: 10.21680/2447-3359.2021v7n1ID21251. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregnet/article/view/21251>. Acesso em: 3 jul. 2025.

ASIF, Muhammad; ANJUM, Muhammad Naveed; AZAM, Muhammad; HUSSAIN, Fiaz; AFZAL, Arslan; KIM, Beom Seok; MAENG, Seung Jin Maeng; KIM, Daye; IQBAL, Waseem. Climate-driven changes in the projected annual and seasonal precipitation over the northern highlands of Pakistan. **Water**, [S.l.], v. 16, p. 3461, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16233461>. Acesso em: 3 jul. 2025.

AZARENKO, O.; HONCHARENKO, Yu.; Divizinyuk M.; SHEVCHENKO, R.; SHEVCHENKO, O. Threats and risks research methods. **Municipal economy of cities**. Series: Economy science, [S. l.], v. 4, n. 178, p. 269–279, 2023. DOI: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-269-279. Disponível em: <https://khges.kname.edu.ua/index.php/khges/article/view/6182>. Acesso em: 24 jun. 2025.

BACHMANN, Corina Pezzini. **Estudo da precipitação média e períodos de seca nas mesorregiões do estado de Santa Catarina**. 2019. 251 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental., Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019.

BACK, Álvaro José. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa agropecuária brasileira.**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, maio 2001.

BAKER, Daniel H. **Research methods using R: advanced data analysis in the behavioural and biological sciences**. Oxford: Oxford University Press, 2023. ISBN 9780191975110. DOI: <https://doi.org/10.1093/hesc/9780192896599.001.0001>.

BANDEIRA, Maria Marle; BECKER, Carmem Terezinha; CABRAL, Danilo Ericksen Costa. A seca de 2012 a 2017 no estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO PARAIBANO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2., 2024, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, 2024. p. 13-17. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/assets/uploads/2024/10/ANAIS-II-SPRH-2024.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2025.

BATISTA JÚNIOR, W. **Identificação e Avaliação dos Fatores de Ocorrência de Secas na Bacia do Rio Guandu-Espírito Santo**. 2012. 127f. Tese (Doutorado)

Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Viçosa, 2012.

BECKER, B. **Cenários de curto prazo para o desenvolvimento da Amazônia.** Cadernos IPPUR, Rio de Janeiro, Ano XIV, p. 53-85, 2000.

BELTRÃO, Breno Augusto et al (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado de Paraíba: diagnóstico do município de Picuí.** Recife: CPRM, 2005. Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos. Acesso em: <https://rigeo.sgb.gov.br/server/api/core/bitstreams/0a09e4c5-2c96-4a70-a6a5-092d25d22841/content>

BEZDAN, Atila; BEZDAN, Jovana; BLAGOJEVIĆ, Boško; BAUMGERTEL, Aleksandar; LAZIĆ, Irida; TOLIĆ, Milica; DJURDJEVIĆ, Vladimir. Observed characteristics and projected future changes of extreme consecutive dry days events of the growing season in Serbia. **International Journal Of Climatology**, [S.L.], v. 44, n. 11, p. 4127-4141, 23 jul. 2024. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.8573>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.8573?af=R>. Acesso em: 20 jun. 2025.

BEZERRA, Ivanhoé; CAVALCANTE, Andréa; ALBUQUERQUE, Ícaro; SILVA, Tarciso. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia do rio Abiaí-Papocas – Paraíba, Brasil. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/348844865\\_Analise\\_da\\_vulnerabilidade\\_natural\\_a\\_perda\\_de\\_solo\\_da\\_bacia\\_do\\_rio\\_Abiai-Papocas\\_-\\_Paraiba\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/348844865_Analise_da_vulnerabilidade_natural_a_perda_de_solo_da_bacia_do_rio_Abiai-Papocas_-_Paraiba_Brasil). Acesso em: 29 jun. 2025.

BHATTACHARYA, Sumana; DAS, Aditi. Vulnerability to drought, cyclones and floods in India. **BASIC Paper**, v. 9, 2007. Disponível em: <http://www.basic-project.net/data/final/Paper09India%20Vulnerability%20to%20drought%20%20cyclone%20and%20floods%EF%BF%BD.pdf>

BRAGA, Célia Campos; SILVA, B.B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado da Paraíba. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, Salvador - BA. **Anais...**Sociedade Brasileira de Meteorologia. p.200-205,1990.

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba.** Rio de Janeiro: Embrapa/Ministério da Agricultura, 1972. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330784/2/EPFSBT151972.pdf>

BRITO, Anderson Geová Maia de. **Vulnerabilidade socioambiental à secas: uma perspectiva do Seridó Potiguar.** 2021. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

BRITO, Sheila; CUNHA, Ana Paula; CUNNINGHAM, Christopher; ALVALÁ, Regina; MARENGO, José; CARVALHO, Magog. Frequency, duration and severity of

drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, ago. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5225>. Acesso em: 3 jun 2025.

CAMPOS, José Nilso N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 65–88, out. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142014000300005>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CARDONA, Omar-Dario; VAN AALST, Maarten K.; BIRKMANN, Jörn; FORDHAM, Maureen; MCGREGOR, Glenn; PEREZ, Rosa; PULWARTY, Roger S.; SCHIPPER, E. Lisa F.; SINH, Bach Tan; DÉCAMPS, Henri. Determinants of Risk: exposure and vulnerability. **Managing The Risks Of Extreme Events And Disasters To Advance Climate Change Adaptation**, [S.L.], p. 65-108, 28 maio 2012. Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9781139177245.005>.

CARMO, Roberto Luiz do. OJIMA Andréa Leda Ramos de Oliveira. OJIMA Ricardo. NASCIMENTO, Thais Tartalha do. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. In: **Ambiente e Sociedade**. Campinas v. X, n. 1 p. 83-96 jan.-jun. 2007.

CAVUS, Yonca; STAHL, Kerstin; AKSOY, Hafzullah. Revisiting major dry periods by rolling time series analysis for human-water relevance in drought. *Water Resources Management*, v. 36, n. 8, p. 2725–2739, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03171-8>. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022WatRM..36.2725C/abstract>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CHAN, Ky. Shrinkage characteristics of soil clods from a grey clay under intensive cultivation. **Australian Journal Of Soil Research**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 65-68, 1 mar. 1982. CSIRO Publishing. <http://dx.doi.org/10.1071/sr9820065>.

CHENG, Xing; XU, Yuyue; CHEN, Jianli; LIU, Qing. The impact of climatic conditions, human activities, and catchment characteristics on the propagation from meteorological to agricultural and hydrological droughts in China. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 128, n. 24, p. e2023JD039735, 2023. DOI: 10.1029/2023JD039735. Acesso em: 29 jun. 2025.

CHIRKOV, Y. I. Droughts, dry winds, dust storms, and hail. In: SEEMANN, J. et al. (Org.). **Agrometeorology**. Berlin; Heidelberg: Springer, 1979. p. 212–216. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-67288-0\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-642-67288-0_29). Acesso em: 29 jun. 2025.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA (CAGEPA). **CAGEPA reativa sistema de abastecimento de água em Picuí e Nova Palmeira**. João Pessoa, 20 abr. 2023. Disponível em: <https://www.cagepa.pb.gov.br/cagepa-reativa-sistema-de-abastecimento-de-agua-em-picui-e-nova-palmeira-2/>. Acesso em: 2 fev. 2026.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Serviço Geológico do Brasil - Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Sousa, estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005b.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Serviço Geológico do Brasil - Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Sumé, estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005c.

CONTI, J. B. O Conceito de Desertificação. *Revista Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro. **UNESP**. v.3, n. 2, p. 39-53. 2008.

COPPOLA, Damon P. Risk and Vulnerability. *Introduction To International Disaster Management*, [S.L.], p. 139-207, 2011. **Elsevier**. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-382174-4.00003-3>.

COSTA, Benedito Marques da. **Tipos de pastagens sob o ponto de vista ecológico**. **Salvador: Universidade Federal da Bahia**, Escola de Agronomia, [s.d.]. Disponível em:  
<https://www.bibliotecaagptea.org.br/zootecnia/forragens/artigos/TIPOS%20DE%20PASTAGENS%20SOB%20O%20PONTO%20DE%20VISTA%20ECOLOGICO.pdf>.  
Acesso em: 4 jul. 2025.

CUNHA, Ana Paula; TOMASELLA, Javier; RIBEIRO, Germano; BROWN, Matthew; GARCIA, Sâmia; BRITO, Sheila; CARVALHO, Magog. Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**, [S.l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/asl.855>. Acesso em: [coloque a data de acesso].

CUNICO, Camila; LUCENA, Daisy Beserra; MOURA, Marcelo de Oliveira. **Metodologias para identificação da vulnerabilidade socioambiental e dos riscos de desastres hidroclimáticos na Paraíba**. Paraíba: pluralidades e representações geográficas. Vol. 4. Campina Grande: EDUFCEG, 2021.

CUTTER, Susan L. Ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, [Coimbra], v. 93, p. 59-69, 2011. Disponível em: <https://journals.openedition.org/rccs/165#authors>

CUTTER, Susan L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, Londres, v. 20, n. 4, p. 529–539, 1996.

DANTAS, Leydson; SANTOS, Carlos; SANTOS, Celso; MARTINS, Eduardo; ALVES, Lincoln. Future changes in temperature and precipitation over Northeastern Brazil by CMIP6 model. **Water**, [S.l.], v. 14, p. 4118, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w14244118>. Acesso em: 4 jul. 2025.

DEWAN, Ashraf M.. Hazards, Risk, and Vulnerability. **Springer Geography**, [S.L.], p. 35-74, 2013. Springer Netherlands. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5875-9\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5875-9_2).

FARIAS, André Aires de; XAVIER, Rafael Albuquerque. Eventos extremos de secas na sub-bacia hidrográfica do Rio Sucuru, Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 38, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863810087>

FARIAS, Thiago da Silva. **Rodovias das Águas: Uma Análise Espacial da Operação Pipa no Semiárido Paraibano**. João Pessoa: UFPB, 2018. (Monografia de Graduação em Geografia).

FEITOSA, Fernando Antônio Carneiro (coord.). **Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe – PB**. Campina Grande, PB: Serviço Geológico do Brasil – CPRM; Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2008. Projeto Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10452>.

FILGUEIRA, Hamicar José Almeida. **Desastres El Niño-Oscilação Sul (ENOS) versus sistemas organizacionais – Paraíba/Brasil, Flórida/Estados Unidos da América e Piura/Peru: uma análise comparativa**. Campina Grande: UFCG, 2004. 240 p. (UFCG-CCT). Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2004.

FILGUEIRA, Hamicar José Almeida. **Os desastres relacionados com fenômenos naturais no contexto dos sistemas organizacionais**. In: GARCIA, José Paulo Marsola. (Org.). **Desastres na Paraíba: riscos, vulnerabilidade e resiliência**. João Pessoa, PB: Editora Universitária da UFPB, 2013. p. 53-63. ISBN: 978.85.237.0590-9.

FILGUEIRA, Hamicar José Almeida.; BARBOSA, Marx Prestes. **O Nordeste brasileiro: uma região de desastres socialmente construídos**. In: GARCIA, José Paulo Marsola. (Org.). **Desastres na Paraíba: riscos, vulnerabilidade e resiliência**. João Pessoa, PB: Editora Universitária da UFPB, 2013. p. 9-24. ISBN: 978.85.237.0590-9.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; MEDEIROS, Raimundo Mainar de; MATOS, Rigoberto Moreira de; BANDEIRA, Maria Marle; SANTOS, Djail. Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez Através do BHC para o Estado da Paraíba (Analysis and mapping of moisture indices, water and aridity through the BHC for the Paraíba state). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 1093–1108, 2016a. DOI: 10.5935/1984-2295.20150056. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233522>. Acesso em: 3 jul. 2025.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D. **Balço hídrico climatológico para a capacidade de campo de 100 mm – Estado da Paraíba**. Campina Grande, PB. EDUFCG: 2018. 257p.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; PEREIRA, Frederico Campos; MEDEIROS, Raimundo Mainar de; FILGUEIRA DE SÁ, Talita Freitas; SILVA, José Vanildo do Nascimento. Atualização do mapa de solos do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. **Pesquisa Operacional em Ciências da Terra e Ambiente (CDSA), 2023**. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/37273/1/ATUALIZA%C3%87%C3%83O%20DO%20MAPA%20DE%20SOLOS%20DO%20ESTADO%20DA%20PARA%C3%84%20UTILIZANDO%20GEOTECNOLOGIAS%20%E2%80%93%20ARTIGO%20DE%20PERI%C3%93DICO%20CDSA%202023.pdf>

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; SANTOS, Djail. **Climatologia do estado da Paraíba**. 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/30189/1/CLIMATOLOGIA%20DO%20ESTADO%20DA%20PARA%C3%8DIA%20-%20E-BOOK%20EDUFCG%202017.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2025.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; MEDEIROS, Raimundo Mainar de; TAVARES, Alexandra Lima; SANTOS, Djail. Variability space-temporal of annual precipitation of wet and dry period in the Paraíba State. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 6, n. 1, p. 1–13, 2016b. DOI: <https://doi.org/10.5935/2237-2202.20160001>.

FRANCISCO, P. R. M.; PEDROZA, J. P.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L. DA; SANTOS, D. Mapeamento da insolação do estado da Paraíba utilizando krigagem. **Revista de Geografia**, v.33, n.1, p.248-262, 2016c.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; PEREIRA, Frederico Campos; MEDEIROS, Raimundo Mainar de; SÁ, Talita Freitas Filgueira de; SILVA, José Vanildo do Nascimento. Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí – PB utilizando sistema de informação geográfica. In: **simpósio brasileiro de ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação**, 4., 2012, Recife. Anais... Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2012. p. 001–006. Disponível em: [https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos\\_Artigos/053\\_5.pdf](https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos_Artigos/053_5.pdf).

FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semiáridas. **Revista Tecnologia**, v.suplem, p.84-95, 2005.

GAUTAM, R. C.; BANA, R. S. Drought in India: its impact and mitigation strategies: a review. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 59, n. 2, p. 179–190, 2014. Disponível em: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=AoPt5ecAAAJ&citation\\_for\\_view=AoPt5ecAAAJ:qjMakFHDy7sC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=AoPt5ecAAAJ&citation_for_view=AoPt5ecAAAJ:qjMakFHDy7sC). Acesso em: 11 mar. 2025.

GARBA, Auwal; GANA, Bukar Abba; MOHAMMED, Isah; ADAMU, Haruna. Climate Change Vulnerability Assessment: An Evaluation of Social Dimension. **Journal of Sustainability and Environmental Management**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 52–61, 2022. DOI: 10.3126/josem.v1i2.45333. Disponível em: <https://www.nepjol.info/index.php/josem/article/view/45333>. Acesso em: 27 jun. 2025.

GOIS, Givanildo de. **Catástrofes naturais no Estado do Rio de Janeiro baseado em dados climáticos e produtos orbitais: uma abordagem estatística**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2017.

GOLER, Robert. **Ensemble calculations of "Consecutive Dry Days" from EURO-CORDEX data for Europe**. Zenodo, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3635289>. Acesso em: 2 jul. 2025.

GORNITZ, Vivien. The nature of Quaternary climate change. In: ELIAS, Scott (ed.). **Encyclopedia of Quaternary Science**. 3. ed. Oxford: Elsevier, 2025. p. 171–183.

ISBN 978-0-443-29997-1. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99931-1.00099-4>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323999311000994>. Acesso em: 3 jul. 2025.

GOOSSENS, Chr; BERGER, André. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.

GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da água da chuva. KOBAYAMA et al. (tradução). Curitiba-PR, **Organic Tradiing**, 196 p. 2002.

GURJÃO, Katia Cristina de Oliveira; ALVARENGA, Cícero Fábio de Sousa; COELHO, Alexsandro Alves. Feira agroecológica no Alto Sertão da Paraíba: produzindo saúde. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Brasília, v. 4, n. 1, 2009. VI Congresso Brasileiro de Agroecologia e II Congresso Latinoamericano de Agroecologia, 2009. Seção: 10. VI CBA e II CLAA - Experiências em Agroecologia. Disponível em: <https://revista.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/4175>. Acesso em: 2 jul. 2025.

HAO, Zengchao; SINGH, Vijay P. Drought characterization from a multivariate perspective: a review. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 668-678, 2015.

HIPEL, Keith W.; MCLEOD, A. Ian. Time series modelling of water resources and environmental systems. [S.l.]: **Elsevier**, 1994.

HIRSCH, Robert M.; SLACK, James R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. **Water Resources Research**, v. 20, n.6, p.727 – 732, June, 1984.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**. Delft: IHE – Institute for Water Education, 2002. (Value of Water Research Report Series No. 11). Disponível em: <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Report11.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2025.

HUFFMAN, Rodney L.; FANGMEIER, Delmar D.; ELLIOT, William J.; WORKMAN, Stephen R. Formation, characteristics, and measurement of precipitation. In: HUFFMAN, R. L. et al. **Soil and water conservation engineering**. 7. ed. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2013. p. 31–54. DOI: <https://doi.org/10.13031/swce.2013.3>.

ILAME, Tanmay. Multidimensional Scoping Review on Climate Change Vulnerabilities With Adaptation and Mitigation Strategies. **Journal Of Climate Resilience And Justice**, [S.L.], v. 2, p. 129-149, 2025. MIT Press. [http://dx.doi.org/10.1162/crcj\\_a\\_00020](http://dx.doi.org/10.1162/crcj_a_00020).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Picuí**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/picui.html>. Acesso em: 4 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Plataforma Geográfica Interativa – PIB Municipal**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/pibmunic/#/home/>. Acesso em: 28 jan. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sousa**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/picui.html>. Acesso em: 4 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sumé**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/picui.html>. Acesso em: 4 jul. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **Delimitação do Semiárido Brasileiro (2024)**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-pdf/delimitacao-do-semiarido-brasileiro-2024.pdf/view>. Acesso em: 8 mar. 2025.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken and K. S. White. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A.

Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Disponível em: <https://www.atlasbrasil.org.br/>

JOSÉ, Rafael Vinicius São; GRECO, Roberto; ZEZZO, Larissa; COLTRI, Priscila. Drought risk in the semi-arid of Bahia. **Mercator**, Fortaleza, v. 22, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22024>. Acesso em: 3 jul. 2025.

KANNA, I. Vinoth; ROSELINE, S.; BALAMURUGAN, K.; JEEVA, S.; SANTHIYAGU, I. **The effects of greenhouse gas emissions on global warming**. [S.l.], 2024. ISBN 9780124095489. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-93940-9.00216-4>.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Measures**. London: Charles Griffin, 1975.

KHAN, Md. Zulfequar Ahmad. Causes and consequences of greenhouse effect & its catastrophic problems for Earth. **International Journal of Sustainability Management and Information Technologies**, v. 3, n. 4, p. 34–39, 2017. DOI: 10.11648/j.ijmsmit.20170304.11. Acesso em: 4 jul. 2025.

KUMAR, Vijay; RANJAN, Deeksha; VERMA, Khushaboo. Global climate change: the loop between cause and impact. In: SINGH, Suruchi; SINGH, Pardeep; RANGABHASHIYAM, S.; SRIVASTAVA, K. K. (ed.). **Global Climate Change**. Oxford: Elsevier, 2021. p. 187–211. ISBN 978-0-12-822928-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822928-6.00002-2>. Acesso em: 3 jul. 2025.

LEAR, Caroline; ANAND, Pallavi; BLENKINSOP, Tom; FOSTER, Gavin; GAGEN, M. H.; HOOGAKKER, Babette; LARTER, Robert; LUNT, Daniel; MCCAVE, I.; MCCLYMONT, Erin; PANCOST, Richard; RICKABY, Ros; SCHULTZ, David; SUMMERHAYES, C.; WILLIAMS, Charles; ZALASIEWICZ, Jan. Geological Society of London Scientific Statement: what the geological record tells us about our present and future climate. **Journal of the Geological Society**, London, v. 178, p. jgs2020-239, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1144/jgs2020-239>. Acesso em: 3 jul. 2025.

LEÓN, Juan Carlos Villagrán de. **Vulnerability: a conceptual and methodological review**. Bonn: United Nations University – Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), 2006. (Studies of the University: Research, Counsel, Education – Publication Series of UNU-EHS; n. 4). ISBN 3-9810582-5-9.

LI, Yunyun; HUANG, Yi; LI, Yanchun; ZHANG, Hongxue; DENG, Qian; FAN, Jingjing; WANG, Xuemei. Temporal and spatial propagation characteristics of the

meteorological, agricultural and hydrological drought system in different climatic conditions within the framework of the watershed water cycle. **Water**, v. 15, n. 22, art. n. 3911, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15223911>. Acesso em: 1 jul. 2025.

LIMA, Paulo Ricardo Cavalcante de; ANDRADE, Amanda Ribeiro de; OLIVEIRA, João Victor Pequeno de; LUCENA, Daisy Beserra. Identificação de tendências nas séries temporais de precipitação na microrregião do Alto Sertão Paraibano. **Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1–18, 2021. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.63570. Disponível em: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/63570>. Acesso em: 1 jul. 2025.

LIN, Jialin; QIAN, Taotao; SCHUBERT, Siegfried. Droughts and mega-droughts. **Atmosphere-Ocean**, v. 60, n. 3-4, p. 245–306, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07055900.2022.2086848>. Acesso em: 20 jun. 2025.

LUCENA, Daisy Beserra; CUNICO, Camila; MOURA, Marcelo de Oliveira. Índice de risco de desastre climático para o estado da paraíba - Brasil. **Okara: Geografia em debate**, [S.L.], p. 89-108, 3 nov. 2023. Universidade Federal da Paraíba. <http://dx.doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2023v17n1.68164>. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/view/68164>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MALLAKPOUR, Iman; VILLARINI, Gabriele. A simulation study to examine the sensitivity of the Pettitt test to detect abrupt changes in mean. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, p. 150119093336004, jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1008482>.

MANN, Henry B.. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 245, jul. 1945. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/1907187>.

MANIÇOBA, Rudah Marques; SOBRINHO, José Espíndola; GUIMARÃES, Ítala Tavares; CAVALCANTE JÚNIOR, Edmilson Gomes; SILVA, Tecla Ticiane Félix da; ZONTA, João Henrique. Índice de anomalias de chuva para diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 4, p. 1110-1119, 2017.

MARENGO, José A.; ALVES, Lincoln M.; ALVALA, Regina Célia dos Santos; CUNHA, Ana Paula Martins do Amaral; BRITO, Sheila Santana de Barros; MORAES, Osvaldo. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, ago. 2018.

MARENGO, Jose A.; BERNASCONI, Mauro. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1-2, p. 103-115, 2015.

MARTINS, Eduardo Sávio Passos Rodrigues; COELHO, Caio A. S.; HAARS, Rein; OTTO, Friederike E. L.; KING, Andrew D.; VAN OLDENBORGH, Geert Jan; KEW, Sarah; PHILIP, Sjoukje; VASCONCELOS JÚNIOR, Francisco C.; CULLEN, Heidi. A multimethod attribution analysis of the prolonged Northeast Brazil hydrometeorological

drought (2012–16). **Bulletin of the American Meteorological Society**, United States, v. 99, n. 1, p. 565–569, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/59329>. Acesso em: 3 jun. 2025.

MATTEDI, Marcos; ROSSI, Maria; SPIESS, Maiko Rafael. Aplicações do conceito de vulnerabilidade na abordagem dos desastres. **Caderno CRH**, v. 37, p. 1-25, e024051, 2024.  
Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ccrh/a/KhZ6QmPSYJ97qNbKF8Y8Xrq/#>

MEDEIROS, Ailma Roberia Souto de; DANTAS, Jaqueline de Souza; BARROS, Paulo Sales da Costa; Gonzaga, Ligia Mara. Avaliação dos impactos ambientais gerados pela pequena mineração no município de Picuí: PB. **Semiárido Brasileiro**, v. 2, p. 15, 2019.

MEDEIROS, Felipe; OLIVEIRA, Cristiano Prestrelo de; TORRES, Roger Rodrigues. Climatic aspects and vertical structure circulation associated with the severe drought in Northeast Brazil (2012–2016). **Climate Dynamics**, v. 55, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05385-1>. Acesso em: 20 mar. 2025.

MEDEIROS, Raimundo Mainar; FRANCISCO, Paulo Paulo Roberto Megna; BANDEIRA, Maria Marle. Balanço Hídrico Climatológico, em Decorrência do Aquecimento Global, no Município de Picuí - Semiárido Paraibano (Climatic Water Balance, as a Result of Global Warming, in the City of Picuí - Paraíba Semiarid). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 59–72, 2012. DOI: 10.26848/rbgf.v5i1.232757. Acesso em: 4 jul. 2025.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007

MISHRA, Ashok K.; SINGH, Vijay P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1, p. 202–216, 14 set. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MOISA, C.; MIRCOV, V. D.; COZMA, A. Drought - a risk factor in agriculture in western plain of autumn 2011. **Research Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 86–94, 2012. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123305152>.

MOKHTARI, Mohammad; FARIDI, Parvaneh; MASOODI, Mehdi; AHMADI, Seyed Mehran. **A Global View of Natural Hazards Related Disasters**. In: MOKHTARI, Mohammad (ed.). *Natural Hazards – New Insights*. [s.l.]: IntechOpen, 2023. DOI: 10.5772/intechopen.104005. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/natural-hazards-new-insights>.

MOURA, C. S. de. **Vulnerabilidade das terras agrícolas, degradação ambiental e riscos a desastres ENOS no município de Sumé (PB)**. 2002. Dissertação (Mestrado) UFCG.

NICOLAU, Josefa Patrícia Balduino; SILVA, Simone Diniz; SILVA, Edivane Araújo; PEREIRA, Frederico Campos. Relatos e trocas de experiências agroecológicas vivenciadas por agricultores de comunidades do Alto Sertão Paraibano. In:

**ENCONTRO REGIONAL DE AGROECOLOGIA**, 15., 2015, Bananeiras-PB. Anais [...]. Bananeiras: Universidade Federal da Paraíba, 2015. v. 10, n. 2.

NUNES, Dayanna Rodrigues da Cunha; SILVA, Paulo Afonso Lopes da. Análise de tendência das séries temporais de precipitação pluviométrica do município de Nova Lima/MG. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 13, n. 12, p. 61–68, 2023. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.012.0006.

KIM, Ji Eun; PARK, Ji Yeon; LEE, Joo-Heon; KIM, Tae-Woong. Socioeconomic vulnerability assessment of drought using principal component analysis and entropy method. **Journal Of Korea Water Resources Association**, [S.L.], v. 52, n. 6, p. 441-449, 30 jun. 2019. Korea Water Resources Association. <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2019.52.6.441>. Disponível em: <http://jkwra.or.kr/articles/article/Aakm/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

OLÍMPIO, João Luís Sampaio; CUNICO, Camila; LUCENA, Daisy Beserra. Vulnerabilidade aos desastres ambientais no estado da paraíba. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 44, 2024. DOI: 10.12957/geouerj.2024.76107. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/76107>. Acesso em: 6 ago. 2025.

OLIVEIRA, F. L. B. **Vulnerabilidade socioambiental e expansão urbana: análise do município de Solânea-PB**. 2018. 163 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018.

PALHARES, Julio Cesar Pascale (ed.). **Produção animal e recursos hídricos: uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1137256/producao-animal-e-recursos-hidricos--uso-da-agua-nas-dimensoes-quantitativa-e-qualitativa-e-cenarios-regulatorios-e-de-consumo>

PARAÍBA. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia (SERHMACT). **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba – PAE-PB**. João Pessoa: SERHMACT; SUDEMA; IICA; SCIENTEC, 2011. 144 p. ISBN 978-85-7745-899-8

PENEREIRO, Júlio César; MESCHIATTI, Monica Cristina. Tendências em séries anuais de precipitação e temperaturas no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 02, p. 319-331, 2018.

PETTITT, Anthony N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

PINHEIRO, Aracélia Azevedo; FREIRE, José Lucínio de Oliveira. Diagnóstico infraestrutural das propriedades rurais e dos arranjos produtivos da Comunidade do Mendes em Picuí, PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. especial, p. 8–12, dez. 2012.

- PIRES, V. **Frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos associados a precipitação**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Universidade de Lisboa, Portugal, 2003
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PICUÍ. **Aspectos gerais do município**. Disponível em: <https://www.picui.pb.gov.br/public/a-cidade/aspectos-gerais>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- RAKHECHA, Pukh; SINGH, Vijay. Precipitation and its measurement. In: SINGH, Vijay P. (org.). **Elementary hydrology**. Dordrecht: Springer, 2009. p. 190–218. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9844-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9844-4_9).
- RAYMAEKERS, Jakob; LEUVEN, KU. robslopes: Efficient Computation of the (Repeated) Median Slope. **The R Journal**, v. 14, p. 38-49, fev. 2023. DOI: 10.32614/RJ-2023-012.
- REGHEZZA, M. La vulnérabilité: un concept problématique. In: LEONE, F.; VINET, F. **La vulnérabilité des sociétés e des territoires face aux menaces naturelles**. Montpellier: Publications de Université Paul-Valéry, 2005. p. 35-39.
- REUTERS. **UN climate negotiations through the years to COP29**. Reuters, 8 nov. 2024. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/environment/un-climate-negotiations-through-years-cop29-2024-11-08/>. Acesso em: 4 jul. 2025.
- RIOJA, Tamara; CARRILLO-REYES, Arturo; OLAVE, Maria Elena Torres. Editorial Impact of global climate change on mammals. **Therya notes**, v. 4, p. 127-128, set. 2023. DOI: 10.12933/therya\_notes-23-118.
- ROCHA, **Marcelo Henrique Fernandes de Faria**; OLIVEIRA, **Alisson Souza de**; MOREIRA, **Gustavo Andrade**; SOARES, Karina de Jesus; MARQUES, Rosângela Francisca de Paula Vitor; COELHO, Antonione Araujo. Evaluation of the Rain Anomaly Index for the central region of the State of Espírito Santo. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e94101219990, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.19990. Acesso em: 6 jul. 2025.
- RODRIGUES, Edgleidson Lima; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de; LOPES, Renato Francisco Cândido. Análise da Variabilidade dos Períodos Secos e Chuvosos da Precipitação Pluvial no Estado da Paraíba Utilizando o Índice Padronizado de Precipitação (IPP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 15, n. 5, p. 2544–2581, 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.5.p2544-2581. Acesso em: 30 jun. 2025.
- ROOY, M. P V. A rainfall anomaly index independente of time and space. Notes. **Weather Bureau of South Africa**, v.14, p.43-48, 1965.
- ROSENDON, Eliamin Eldan Queiroz. **Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade à seca na região semiárida brasileira**. 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

ROSENDO, Eliamin E. Q.; FILGUEIRA, Hamilcar J. A.; SILVA, Tarciso C.; SOUZA, Bartolomeu I.; JUNIOR, Marcelo H. S. Determination and application of drought vulnerability indexes in the semi-arid region of Brazil. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 2, p. 45–56, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21707/gaia.v11.n02a04>.

ROSHANI; SAJJAD, Haroon; RAHAMAN, Md Hibjur; MASROOR, Md; SHARMA, Yatendra; SHARMA, Aastha; SAHA, Tamal Kanti. Vulnerability assessment of forest ecosystem based on exposure, sensitivity and adaptive capacity in the Valmiki Tiger Reserve, India: a geospatial analysis. **Ecological Informatics**, [S.L.], v. 80, p. 102494, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102494>. Acesso em: 19 jun. 2025.

ROSSI, Giuseppe; CASTIGLIONE, L.; BONACCORSO, Brunella. Guidelines for planning and implementing drought mitigation measures. In: ROSSI, Giuseppe; VEGA, T. Grigg de; BONACCORSO, Brunella (ed.). **Methods and tools for drought analysis and management**. Dordrecht: Springer, 2007. p. 325–347. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5924-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5924-7_16). Acesso em: 3 jul. 2025.

ROY, Subham; MAJUMDER, Suranjan; BOSE, Arghadeep; CHOWDHURY, Indrajit Roy. Mapping the vulnerable: a framework for analyzing urban social vulnerability and its societal impact. **Societal Impacts**, [S.L.], v. 3, p. 100049, jun. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socimp.2024.100049>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949697724000146>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SANTOS, Fernanda Kátiusca dos. **A indústria da cerâmica vermelha e os índices de extremos climáticos para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SANTOS, Frank Gurgel; PINÉO, Tercyo Rinaldo Gonçalves; MEDEIROS, Vladimir Cruz de; SANTANA, Jocilene dos Santos; MORAIS, Débora Melo Ferrer de; VALE, José Alberto Rodrigues do; WANDERLEY, Adeilson Alves. **Mapa geológico da Província Borborema**. Recife: SGB-CPRM, 2021. 1 mapa color. Escala 1:1.000.000. Projeto Geologia e Potencial Mineral da Província Borborema. Acesso em: <https://rigeo.sgb.gov.br/items/49e5e5d2-5219-4b2e-a4c4-3053164956ef>.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. ISBN 978-85-7035-800-4. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>

SANTOS, Maria Paloma Alves dos; SOUSA, José Hugo Simplicio de; NASCIMENTO, Abdalan Andrade do; RIBEIRO, George do Nascimento; PRADO JÚNIOR, Leonardo Souza do; OLIVEIRA NETO, José Nunes de. Volume hídrico por processamento digital de imagens de açude público em Sumé, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, PB, v. 17, n. 3, p. 215–220, jul./set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v17i3.9622>.

SCARDUA, J. A. **Ocorrência de dias secos consecutivos na região de Cachoeiro do Itapemirim estado do Espírito Santo**. 1979. 78p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 1979. doi:10.11606/D.11.1979.tde-20220207-203904. Acesso em: 2023- 04-08.

SCHOLES, Robert J. The Future of Semi-Arid Regions: a weak fabric unravels. **Climate**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 43, 13 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/cli8030043>.

SCHLESINGER, William H. The global carbon cycle and climate change. In: SINNOTT-ARMSTRONG, W.; HOWARTH, R. B. (ed.). **Perspectives on climate change: science, economics, politics, ethics**. Leeds: Emerald Group Publishing Limited, 2005. v. 5, p. 31–53. (Advances in the Economics of Environmental Resources). DOI: [https://doi.org/10.1016/S1569-3740\(05\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S1569-3740(05)05002-9).

SCHNEIDERBAUER, Stefan; BAUNACH, Daniel; PEDOTH, Lydia; RENNER, Kathrin; FRITZSCHE, Kerstin; BOLLIN, Christina; PREGNOLATO, Marco; ZEBISCH, Marc; LIERSCH, Stefan; LÓPEZ, María del Rocío Rivas; Ruzima, Salvador. Spatial-Explicit Climate Change Vulnerability Assessments Based on Impact Chains. Findings from a Case Study in Burundi. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 16, p. 6354, 7 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12166354>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SCHUCKNECHT, Anne; MATSCHULLAT, Jörg; ERASMI, Stefan. **Spatial and temporal variability of vegetation status in Paraíba, Northeastern Brazil**. [S.l.]: [s.n.], jul. 2012. p. 32–35. ISBN 978-1-4673-1160-1. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351643>.

SEBRAE. Perfil socioeconômico do município de Sousa – PB. João Pessoa, 2023. Disponível em: <https://observatorio.sebrae.com.br/profile/geo/sousa?redirect=true>

SEN, Pranab Kumar. **Estimates of the regression coefficient based on Kendalls's tau**. Journal of the American Statistical Association, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, (1968).

SENA, Jaricélia Patrícia de Oliveira; MORAES NETO, João Miguel; LUCENA, Daisy Beserra. Variabilidade da precipitação em Sumé e São João do Cariri e suas consequências na agropecuária. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

SILVA FILHO, José Adalberto da; ARAÚJO, Sayonara Costa de; NOGUEIRA, Virgínia de Fátima Bezerra. Análise temporal do regime pluviométrico no município de Sousa – PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, PB, v. 11, n. 1, p. 08–13, jan./mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i1.4044>. Acesso em: 4 jul. 2025.

SILVA, Dalva Damiana Estevam da; NETO, João Miguel de Moraes; RIOS, Fábio Remy de Assunção; FERNANDES, Maria de Fátima; SILVA, José Miguel da. Análise da vulnerabilidade socioeconômica no entorno da bacia hidráulica do açude Jatobá II, no Semiárido Paraibano (Analysis of the socioeconomic vulnerability in the

surroundings of the hydraulic basin of the Jatobá II dam, in the semiarid Paraíba). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 402–412, 2017a. DOI: 10.5935/1984-2295.20170024. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233999>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SILVA, Diêgo Alan Mangueira da; MOURA, Marcelo de Oliveira. Registros de desastres associados à estiagem e seca na região do Alto Sertão da Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 4, p. 126–136, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0ID14100. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/14100>. Acesso em: 1 jul. 2025.

SILVA, Francisco Tales da; CHAVES, Alan Dél Carlos Gomes; ALMEIDA, Ricardo Ricelli Pereira de; CAROLINO, Rodolfo de Abreu; CAROLINO, Eclivaneide Caldas de Abreu; PORDEUS, Gilvan Oliveira; GALVÃO, Josias de Castro. **Perfil dos agricultores do Projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa-PB**. INTESA – Informativo Técnico do Semiárido, Pombal-PB, v. 9, n. 2, p. 21-24, jun./dez. 2015. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/INTESA/article/view/3502/3138>

SILVA, Euclides Miranda. **Avaliação da qualidade de água através de parâmetros físico-química da água bruta e pós tratamento do açude de Sumé**. 2017. 51f. (Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia), Curso de Engenharia de Biosistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4992>

SILVA, Janaína Barbosa da; DUARTE, Simone Mirtes Araújo. Intermittent rivers of the Brazilian northeast: The case of alto Paraíba, Brasil. **Ciência & Trópico**, v. 41, n. 2, 2017.

SILVA, Lucas Augusto Pereira da; SILVA, Claudionor Ribeiro da; SOUZA, Cristiano Marcelo Pereira de; BOLFE, Édson Luís; SOUZA, João Paulo Sena; LEITE, Marcos Esdras. Mapeamento da aridez e suas conexões com classes do clima e desertificação climática em cenários futuros – Semiárido Brasileiro. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 1-13, 19 jun. 2023a. PPUFU - Portal de Periódicos da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v35-2023-67666>.

SILVA, Marcelo Alves Maurício da; FRUTUOSO, Maria Núbia Medeiros de Araújo; RODRIGUES, Sofia Suely Ferreira Brandão; NOGUEIRA, Rejane Jurema Mansur Cutódio. Fatores socioambientais influenciados pela seca na conservação da caatinga. **Holos**, [S.L.], v. 4, p. 245-257, 9 set. 2016. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2016.4175>.

SILVA, Naiane Gomes da; ALMEIDA, Freds Fernando Alves de; SALES FILHO, Romero Luiz Mendonça; SOUZA, Werônica Meira de; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Vulnerabilidade ambiental e socioeconômica aos eventos extremos de precipitação relacionados a seca no semiárido nordestino – Estudo de caso da Bacia Hidrográfica de Terra Nova – Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**

Física, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 1490-1510, 1 jun. 2023b. **Revista Brasileira de Geografia Física**. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1490-1510>.

SILVA, Semirames do Nascimento; LOPES, Francisco Guimarães; ANDRADE, Francisco Edu; FERREIRA, Caio Braga; DANTAS, Maria Candida de Almeida Mariz; SIQUEIRA, Eliezer da Cunha. Efeitos da escassez hídrica na economia do perímetro irrigado de São Gonçalo, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 132, 26 mar. 2017b. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i1.5075>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SILVA, Tatiana dos Santos; MOURA, Marcelo de Oliveira; CUNICO, Camila. Vulnerabilidade socioambiental a estiagem e seca na região pluviométrica do Cariri/Curimataú paraibano. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, [S. l.], v. 26, n. 1, p. 123–144, 2024. DOI: 10.35701/rcgs.v26.950. Acesso em: 1 jul. 2025.

SILVEIRA, Thyago de Almeida; PEREIRA, Frederico Campos; D'ANDREA, Alexandre Fonseca; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de. Use of vegetation indices to estimate the live biomass loss in the Picuí municipality. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 1–13, 30 jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v8.1.p1-13>.

SINGH, Fulwinder Pal. Global climate change: the present scenario. **American Journal of Life Sciences**, v. 5, n. 3-1, p. 10–14, 2017. DOI: 10.11648/j.ajls.s.2017050301.12. Disponível em: <https://doi.org/10.11648/j.ajls.s.2017050301.12>

SIQUEIRA, Beatriz; NERY, Jonas Teixeira. Spatial and temporal variability of precipitation concentration in northeastern Brazil. **Investigaciones Geográficas**, Ciudad de México, n. 104, p. 17, abr. 2021. DOI: 10.14350/rig.60091. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/igeo/n104/2448-7279-igeo-104-e60091.pdf>

SOARES, Deivide Benicio; NÓBREGA, Ranyére Silva; MOTA FILHO, Fernando de Oliveira; PASSOS, Cláudio Roberto Farias; BORGES FILHO, Emanuel Fernando de Andrade. **Soils degradation by salts in Pernambuco, Brazil**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 1621-1628, 2016. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20160110>.

SOUSA, Ayrton Flavio Nascimento de; FRANÇA, Lorena Rayssa Cunha; LACERDA, Mateus Clemente de; BATISTA, Gabriele de Souza. Caracterização dos sistemas ambientais dos municípios em colapso hídrico no estado da Paraíba : Characterization of the environmental systems of municipalities in water collapse in the state of Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 504–518, 2024. DOI: 10.21680/2447-3359.2024v10n2ID36500. Acesso em: 4 jul. 2025.

SOUSA, Ilma da Silva. **Análise das ações sociais proporcionadas pela ONG Educara no município de Sumé - Paraíba**. 2013. 30f. (Trabalho de Conclusão de Curso – Artigo), Curso Superior de Tecnologia em Gestão Pública, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2013. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/6052>

SOUSA, R. F. de. **Terras agrícolas e o processo de desertificação em municípios do semiárido paraibano**. 2007.180 f. Tese (Doutorado) –Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

SOUZA, Sebastião Rodrigo Cortez de; SILVA, Marcelo Reis Rodrigues da; MOURA, Odílio José Marensi de; BEURLIN, Hartmut. FIELD TRIP GUIDE TO THE SERIDÓ PEGMATITE PROVINCE. **Estudos Geológicos**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 21–36, 2022. DOI: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v32n2p21-36. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/estudosgeologicos/article/view/257298>. Acesso em: 12 mar. 2026.

STRACHAN-MORRIS, David. Threat and Risk: what is the difference and why does it matter?. **Intelligence And National Security**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 172-186, abr. 2012. <http://dx.doi.org/10.1080/02684527.2012.661641>. Acesso em: 10 jun. 2025.

TALLAKSEN, L. M.; LANEN, H. A. J. Van. (ed.). Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater. **Elsevier**, 2004.

TAN, Shuwen. The effects of climate change on the global meteorological system and trend analysis. **Interdisciplinary Humanities and Communication Studies**, v. 1, n. 7, p. 1–6, 2024.

TAVARES, Válter Cardoso; ARRUDA, Ítalo Rodrigo Paulino de; SILVA, Danielle Gomes da. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, [S.L.], v. 34, n. 70, p. 385-405, 25 mar. 2019. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>. Acesso em: 20 jun. 2025.

TEIXEIRA, Mariana. **Vulnerability: a critical tool for conviviality-inequality studies**. Mecila Working Papers, São Paulo, v. 44, 2022.

THAKUR, Aradhana; PUII, Liansang; CHOUDHARY, Saket; NAM, Poo; SINGH, Aparajita. Drought characterization using Standardized Precipitation Index for Ajmer, Rajasthan, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, p. 2726–2732, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.319>.

ULIANA, Eduardo Morgan; SILVA, Demetrius David da; ULIANA, Estevão Morgan; RODRIGUES, Beatriz Silveira; CORRÊDO, Lucas de Paula. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 82-88, 1 jan. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1427>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **World Atlas of Desertification**. Edward Arnold, London, UK, 1992.

WILHITE, Donald A.; GLANTZ, Michael H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111–120, 1985. Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/20>. Acesso em: 3 jul. 2025.

WILHITE, Donald; PULWARTY, Roger S. (ed.). **Drought and water crises: integrating science, management, and policy**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017. 582 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b22009>. Acesso em: 3 jul. 2025.

XIE, Huantian; LI, Dingfang; XIONG, Lihua. Exploring the ability of the Pettitt method for detecting change point by Monte Carlo simulation. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, p. 1643-1655, out. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0814-y>.

YEON, Ho-Jae; JEONG, Keun Chae. A statistical analysis of the relationship among frequency, intensity, and damage of natural hazard. **Crisisonomy**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 149-156, 2018. DOI: 10.14251/crisisonomy.2018.14.3.149. ISSN 2466-1198. Disponível em: <https://journal.kci.go.kr/cemtp/archive/articleView?artiId=ART002336382>

YU, J.; CASTELLANI, K.; FORYSINSKI, K. et al. Geospatial indicators of exposure, sensitivity, and adaptive capacity to assess neighbourhood variation in vulnerability to climate change-related health hazards. **Environmental Health**, v. 20, n. 31, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00708-z>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ZALASIEWICZ, Jan; WILLIAMS, Mark. Climate change through Earth's history. In: LENTON, T. M.; SCHMIDT, G. A. (Ed.). 2. ed. Amsterdam: **Elsevier**, 2016. cap. 1, p. 3-17. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63524-2.00001-4>. Acesso em: 3 jul. 2025.

ZHANG, Y.; JIANG, F.; WEI, W.; LIU, M.; WANG, W.; BAI, L.; LI, X.; WANG, S.. Changes in annual maximum number of consecutive dry and wet days during 1961–2008 in Xinjiang, China. **Natural Hazards And Earth System Sciences**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 1353-1365, 9 maio 2012. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-1353-2012>.

ZHANG, Xuebin; YANG, Feng. RCLimDex (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada. **Downsview** (Ontario, Canada), p. 22, 2004. Disponível em: <https://rcc.acmad.org/procedure/RCLimDexUserManual.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ZHOU, Jiawei; CHEN, Xiaohong; XU, Chuang; WU, Pan. **Assessing socioeconomic drought based on a standardized supply and demand water index**. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-993692/v1>. Acesso em: 3 jul. 2025.

ZOLINA, Olga; SIMMER, Clemens; GULEV, Sergey K.; KOLLET, Stefan. Changing structure of European precipitation: longer wet periods leading to more abundant rainfalls. **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 37, n. 6, p. 1-5, mar. 2010. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2010gl042468>.

**ANEXO A - Descrição das tabelas do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) utilizadas na pesquisa.**

**10253** - Pessoas de 10 anos ou mais de idade, por situação de ocupação na semana de referência, sexo, cor ou raça e grupos de idade.

**6884** - Número de estabelecimentos agropecuários com pessoal ocupado, Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários, Número de estabelecimentos agropecuários com pessoal ocupado com laço de parentesco com o produtor e Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários com laço de parentesco com o produtor, por tipologia, sexo, faixas de idade, condição do produtor em relação às terras e grupos de atividade econômica.

**9923** - População residente, por situação do domicílio.

**6753** - Número de estabelecimentos agropecuários e Área dos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, condição legal das terras, condição do produtor em relação às terras e sexo do produtor

**6883** - Número de estabelecimentos agropecuários com área e Área dos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, utilização das terras, sexo do produtor e grupos e classes de atividade.

**6957** - Produção, Valor da produção, Venda, Valor da venda e Área colhida da lavoura temporária nos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, produtos da lavoura temporária, condição do produtor em relação às terras e grupos de atividade econômica.

**6908** - Número de estabelecimentos agropecuários com efetivo da pecuária e Número de cabeças, por tipologia, espécie da pecuária, grupos de atividade econômica e grupos de área total.

**10253** - Pessoas de 10 anos ou mais de idade, por situação de ocupação na semana de referência, sexo, cor ou raça e grupos de idade.

**6778** - Número de estabelecimentos agropecuários, por tipologia, existência de energia elétrica, condição do produtor em relação às terras, residência da pessoa que dirige o estabelecimento, grupos de atividade econômica e grupos de área total.

**6872** - Número de estabelecimentos agropecuários e Número de tratores, implementos e máquinas existentes nos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, tratores, implementos e máquinas existentes no estabelecimento agropecuário, sexo do produtor e classe de idade do produtor.

**6881** - Número de estabelecimentos agropecuários com área e Área dos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, utilização das terras, condição do produtor em relação às terras, grupos de atividade econômica e origem da orientação técnica recebida.

**9542** - Pessoas de 15 anos ou mais de idade, total e as alfabetizadas, por sexo, cor ou raça e grupos de idade.

**6884** - Número de estabelecimentos agropecuários com pessoal ocupado, Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários, Número de estabelecimentos agropecuários com pessoal ocupado com laço de parentesco com o produtor e Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários com laço de parentesco com o produtor, por tipologia, sexo, faixas de idade, condição do produtor em relação às terras e grupos de atividade econômica.

**ANEXO B - Referências utilizadas na composição dos pesos de exposição das culturas agropecuárias e dos rebanhos.**

Espécie	Coeficiente mínimo	Coeficiente máximo	Coeficiente adotado <sup>(1)</sup>	Consumo (%)	Fonte <sup>(2)</sup>
	L por cabeça por dia				
Bovino	20,0	80,0	50,0	80	ANA (2013)
Bovino (vacas ordenhadas)	20,0	150,0	85,0 (127,5)	60	ANA (2013) Suderhsa (2006)
Suíno	5,0	30,0	12,5 (18,7)	60	ONS (2003, 2005) Suderhsa (2006)
Bubalino	30,0	90,0	50,0	80	ONS (2003, 2005)
Equino	20,0	60,0	40,0	80	ANA (2013) Sudene (1980)
Ovino	5,0	30,0	10,0	80	ONS (2003, 2005)
Caprino	4,0	30,0	10,0	80	ONS (2003, 2005)
Galináceos (outros)	0,10	0,50	0,18 (0,22)	69	Embrapa (2005) Suderhsa (2006)
Galináceos (galinhas)	0,10	0,32	0,18 (0,27)	60	Embrapa (2005) Suderhsa (2006)
Codornas	–	–	0,18	80	Embrapa (2005)

<sup>(1)</sup>Coeficiente técnico apresentado entre parênteses considera a adoção de um percentual destinado a outras necessidades de criação animal.

<sup>(2)</sup>Agência Nacional de Águas (ANA); Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (Suderhsa); Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS); Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

**PALHARES, Julio Cesar Pascale (ed.). Produção animal e recursos hídricos: uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo.** Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1137256/producao-animal-e-recursos-hidricos--uso-da-agua-nas-dimensoes-quantitativa-e-qualitativa-e-cenarios-regulatorios-e-de-consumo>

**Tabela 1.** Demanda específica de água por produtos selecionados (em m<sup>3</sup>/t), Brasil, 1999.

Produto	Demanda espec. de água	Produto	Demanda espec. de água
Banana	483	Vegetais	273
Cevada	1.823	Melancia	596
Feijão seco	5.846	Trigo	1.706
Feijão verde	***	Algodão	3.095
Uvas	485	Repolho	***
Amendoim	2.701	Cenoura	235
Milho	1.261	Couve-flor	360
Manga	1.878	Pepino	401
Milheto	***	Alface	203
Palm	1.286	Aveia	4.592
Pimenta	1.470	Cebola verde	220
Batata	305	Cebola seca	528
Sorgo	2.467	Ervilha	461
Soja	2.244	Açafrão	***
Beterraba	220	Espinafre	***
Cana de açúcar	209	Batata doce	565
Girassol	5.351	Alcachofra	***
Tabaco	2.295	Cítricos	1.741
Tomate	954	Arroz	2.720

\*\*\*Não disponível. Fonte: Hoekstra e Hung, 2002.

CARMO, Roberto Luiz do. OJIMA Andréa Leda Ramos de Oliveira. OJIMA Ricardo. NASCIMENTO, Thais Tartalha do. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. In: **Ambiente e Sociedade**. Campinas v. X, n. 1 p. 83-96 jan.-jun. 2007.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**. Delft: IHE – Institute for Water Education, 2002. (Value of Water Research Report Series No. 11). Disponível em: <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Report11.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2025.