



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

YURI BATISTA OLIVEIRA GOMES

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS IMPLICAÇÕES NOS
RECURSOS HÍDRICOS DAS BARRAGENS: ENGENHEIRO ÁVIDOS, EPITÁCIO
PESSOA E COMPLEXO COREMAS MÃE D'ÁGUA - PARAÍBA**

CAMPINA GRANDE-PB

2024

YURI BATISTA OLIVEIRA GOMES

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS IMPLICAÇÕES NOS
RECURSOS HÍDRICOS DAS BARRAGENS: ENGENHEIRO ÁVIDOS, EPITÁCIO
PESSOA E COMPLEXO COREMAS MÃE D'ÁGUA - PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Ângela Maria Cavalcanti Ramalho.

CAMPINA GRANDE-PB

2024

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

G633c Gomes, Yuri Batista Oliveira.
Cenários de mudanças climáticas e as implicações nos recursos hídricos das barragens: engenheiro ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe d'água - Paraíba. [Manuscrito] / Yuri Batista Oliveira Gomes. - 2024. 114 p.: il. colorido.

Digitado. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2024. "Orientação: Profa. Dra. Ângela Maria Cavalcanti Ramalho, Departamento de Ciências Sociais - CEDUC. "

1. Mudanças Climáticas. 2. Recursos Hídricos. 3. Água. 4. Barragens. I. Título

21. ed. CDD 627.8

YURI BATISTA OLIVEIRA GOMES

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS IMPLICAÇÕES NOS
RECURSOS HÍDRICOS DAS BARRAGENS: ENGENHEIRO ÁVIDOS, EPITÁCIO
PESSOA E COMPLEXO COREMAS MÃE D'ÁGUA - PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Regional.

Linha de Pesquisa: Estado, Planejamento, Políticas Públicas e Desenvolvimento Regional.

Aprovada em: 29/08/2024.

BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Dra. Ângela Maria Cavalcanti Ramalho (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba PPGDR- (UEPB)



Prof^ª. Dr. Rafael Albuquerque Xavier
Universidade Estadual Da Paraíba PPGDR – (UEPB)
(Examinador Interno)



Prof^ª Dr. Pedro Roberto Jacobi
Universidade de São Paulo PPGDCGCTA / IEE- (USP)
(Examinador Externo)

Aos meus pais, João Oliveira Gomes e Zélia Batista Lima Gomes, que sempre me apoiaram a continuar e seguir na minha jornada acadêmica, lembrando sempre de superar os obstáculos e de aprender que nunca devemos perder as esperanças, por mais que os momentos sejam difíceis ou pareçam impossíveis, lutando contra tudo e contra todos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, Pai celestial que me dá saúde plena para correr atrás dos meus objetivos, sempre me blindando dos males terrestres, sendo Ele o caminho, a verdade e vida.

À professora Dra. Ângela Ramalho e ao Professor Dr. José Irivaldo, que, praticamente, me adotaram e me abriram as portas do mundo da leitura, ensino, pesquisa e extensão, possibilitando oportunidades que não foram possíveis durante a graduação e, sobretudo, na pandemia, tornando o período um grande divisor de águas na minha vida pois, quando ninguém mais acreditava em mim, vocês me ajudaram sempre.

Aos meus pais, João Oliveira Gomes e Zélia Batista Lima Gomes, pelo apoio psicológico e emocional, mesmo diante de todas as turbulências financeiras sofridas nos últimos anos, nunca deixaram que me faltasse suporte educacional, abdicando de muitas coisas, para me impulsionar até uma pós-graduação, pois acreditam que a maior herança que se pode deixar é a educação.

Ao meu irmão, Fernando Antônio, pela parceria e ajuda nesta jornada acadêmica, pois, mesmo perante desavenças e dificuldades, nunca nos abandonamos, sempre ajudamos um ao outro.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR), em especial ao coordenador, professor Dr. Rafael Xavier, Leonardo Motta, Lemuel Guerra, Aguida Cristina, Lívia Miranda e Cidoval Morais; ao Departamento de Estatística da UEPB, especialmente aos docentes Dr. Ricardo Olinda e Tiago Almeida, pela contribuição nos resultados, afinal, por meio das disciplinas e dos debates esta pesquisa foi desenvolvida, promovendo conhecimento para a vida.

Aos colegas Miguel Leonardo da Silva, Maria de Lourdes e Gabriel Peixoto, pela amizade sincera e compartilhamento de conhecimentos na pós-graduação, além dos momentos de apoio.

Aos funcionários da UEPB, que sempre estiveram à disposição para o atendimento e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Mestrado, para a realização deste trabalho e, assim, consumação desta pesquisa, no intuito de que os resultados sejam aperfeiçoados e executados, em forma de políticas públicas, em prol da segurança hídrica da sociedade civil paraibana.

EPÍGRAFE

Água que nasce na fonte serena do mundo e que abre um profundo grotão água que faz inocente riacho e deságua na corrente do ribeirão. Águas escuras dos rios que levam a fertilidade ao sertão águas que banham aldeias e matam a sede da população.

(Guilherme Arantes, 1983).

RESUMO

As mudanças climáticas têm implicações na temperatura global, situação provocada pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera; tais alterações interferem no regime de chuvas, podendo acarretar um aumento de eventos hidrológicos extremos e, conseqüentemente, riscos e desastres ambientais provenientes de secas, inundações, deslizamentos e extinções de espécies. Nesse sentido, o estudo tem como objetivo analisar os cenários de interferências climáticas sobre os recursos hídricos das maiores barragens do estado da Paraíba: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe d'Água, evidenciando a necessidade da melhoria na área de gestão dos recursos hídricos, visando a prevenção de uma crise hídrica a médio e longo prazos. Para isso, utilizamos a pesquisa bibliográfica, tomando por base a literatura nacional e internacional, e a pesquisa documental, com coleta de dados quantitativos secundários de séries temporais; por meio das bases de dados de órgãos governamentais, também foram contados com o auxílio tecnológico de plataformas estatísticas do R, modelo estatístico de Sarima e Arima e testes de Dicke-Fuller (estacionariedade) e de Mann-Kendall (tendência). Diante disso, os resultados apontaram implicações climatológicas significativas, a longo prazo, nas barragens, o que ocorreu devido a estiagens prolongadas, à indisponibilidade de recursos hídricos de qualidade, aos altos índices de evaporação e à sazonalidade da água no semiárido paraibano durante o período estimado.

Palavras-Chave: mudanças climáticas; recursos hídricos; água; barragens.

ABSTRACT

Climate change has implications for global temperature, a situation caused by increased greenhouse gas emissions into the atmosphere; such changes interfere with rainfall patterns, which may lead to an increase in extreme hydrological events and, consequently, environmental risks and disasters resulting from droughts, floods, landslides and species extinctions. In this sense, the study aims to analyze the scenarios of climate interference on the water resources of the largest dams in the state of Paraíba: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa and Complexo Coremas Mãe d'Água, highlighting the need for improvements in the area of water resources management, aiming at preventing a water crisis in the medium and long term. To this end, we used bibliographic research, based on national and international literature, and documentary research, with the collection of secondary quantitative data from time series; through government agency databases, we also had the technological assistance of R statistical platforms, SARima and Arima statistical models, and Dicke-Fuller (stationarity) and Mann-Kendall (trend) tests. In view of this, the results pointed to significant long-term climatological implications for dams, which occurred due to prolonged droughts, the unavailability of quality water resources, high evaporation rates, and the seasonality of water in the semi-arid region of Paraíba during the estimated period.

Keywords: climate change; water resources; water; dams.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização das barragens Engenheiro Ávidos, Coremas Mãe-d'água e Epitácio Pessoa	58
Figura 2 - Mapa de localização do município de Cajazeiras	58
Figura 3 - Mapa de localização do município de Coremas	59
Figura 4 - Mapa de localização do município de Boqueirão	60
Figura 5 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas	61
Figura 6 - Mapa de localização da Sub - Bacia Hidrográfica do Rio Piancó	62
Figura 7 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba	63
Figura 8 - Série temporal do volume da Barragem de Coremas	64
Figura 9 - Série temporal do volume da Barragem de Mãe d'água	65
Figura 10 - Série temporal do volume da Barragem Epitácio Pessoa	66
Figura 11 - Série temporal do volume da Barragem Engenheiro Ávidos	67
Figura 12 - Comparação média de volume anual de água por barragem	68
Figura 13 - Precipitação anual em mm por município na Bacia do Rio Piancó	69
Figura 14 - Precipitação anual em mm por município na bacia alto do curso do Rio Piranhas	70
Figura 15 - Precipitação anual em mm por município na bacia do Rio Piranhas	70
Figura 16 - Precipitação anual em mm por município na bacia do médio curso do Rio Piranhas	71
Figura 17 - Precipitação anual em mm por município na bacia do alto curso do Rio Paraíba. 72	
Figura 18 - Precipitação anual em mm por município na bacia do médio curso do Rio Paraíba	73
Figura 19 - Série temporal de sazonalidade do volume da Barragem de Coremas	74
Figura 20 - Série temporal de Sazonalidade do volume da Barragem de Mãe d'Água	75
Figura 21 - Série temporal de Sazonalidade do volume da Barragem de Engenheiro Ávidos	76
Figura 22 - Série Temporal de Sazonalidade do volume da Barragem de Epitácio Pessoa ...	77
Figura 23 - Séries estacionaria e não estacionaria do volume da Barragem de Coremas	78
Figura 24 - Série estacionaria e não estacionaria do volume da Barragem de Mãe d'Água..	81
Figura 25 - Série estacionaria e não estacionaria do volume da Barragem de Engenheiro Ávidos	84

Figura 26 – Série estacionaria e não estacionaria do volume da Barragem de Epitácio Pessoa	88
Figura 27 - Gráfico do modelo Residual de Arima para valores p.d.q (0,1,2) (2,0,0) da Barragem de Coremas no período da série temporal entre 2013 a 2023	92
Figura 28 – Gráfico de do modelo Residual de Arima para valores p.d.q (0,1,2) (2,0,0) da Barragem de Mãe D`água, no período da série Temporal entre 2013 a 2023	93
Figura 29 - Gráfico de do modelo Residual de Arima para valores p.d.q (1,1,0) (1,0,0) da Barragem de Engenheiro Ávidos, no período da série Temporal entre 2012 a 2023	94
Figura 30 – Gráfico de do modelo Residual de Arima para valores p.d.q (0,1,2) (1,0,0), da Barragem de Epitácio Pessoa, no período da série Temporal entre 2012 a 2023	95
Figura 31 - Gráfico de variação temporal de previsão para os volumes da barragem de Coremas para o período de 2025	96
Figura 32 – Gráfico de variação temporal de previsão para os volumes da barragem de Mãe D`água, para o período de 2025	97
Figura 33 – Gráfico de variação temporal de previsão para os volumes da barragem de Engenheiro Ávidos, para o período de 2025	98
Figura 34 – Gráfico de variação temporal de previsão para os volumes da barragem de Epitácio Pessoa, para o período de 2025	99
Figura 35 - Gráfico de tendência do volume anual da barragem de Coremas, no período correspondente entre 2013 a 2023	100
Figura 36 - Gráfico de tendência do volume anual da barragem de Mãe d'Água, no período correspondente entre 2013 a 2023	101
Figura 37 – Gráfico de Tendência do volume anual da barragem de Engenheiro Ávidos, no período correspondente entre 2012 a 2023	102
Figura 38 – Gráfico de Tendência do Volume anual da barragem de Epitácio Pessoa, no período correspondente entre 2012 a 2023	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF - Dickey Fuller aumentado

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado Paraíba

AIC - Criterios de Informações de Akaike

ANA - Agência Nacional de Água e Saneamento Básico

ARIMA - modelo auto-regressivo integrado de médias móveis

BIC - Criterios de Informações de Bayesiano

CAGEPA - Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

DK - Dickey-Fuller

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra Seca

EQM - Erro Quadrático Médio de Previsão

FAC - Função de Autocorrelação

FACP - Função de autocorrelação parcial

FERH - Fundo Estadual de Recursos Hídricos

GEDEC - Gerência Executiva Estadual da Defesa Civil

GIRH - Gestão integrada dos recursos hídricos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFOCS - Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

IOCS - Inspetoria de Obras Contra a Seca

IPCC - Intergovenamental Painel on Climate Change

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômicas e Aplicadas

MC - Mudanças Climáticas

MI - Ministério da Integração

MK - Mann-Kendall

MPPB - Ministério Público da Paraíba

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PAD - Programa Água Doce

PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

RH - Recursos Hídricos

SARIMA - Modelo Auto-Regressivo Integrado de Médias Móveis Com Sazonalidade

SINDPEC - Sistema Nacional de Proteção e da Defesa Civil

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TSH - Tecnologias Sociais Hídricas

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

WCED - World Commission on Environment and Development

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização do Problema	15
1.2	Objetivos	17
1.2.1	<i>Geral</i>	17
1.2.2	<i>Específicos</i>	17
1.3	Justificativa	18
2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
3	A INTERFACE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS IMPACTOS SOBRE NOS RECURSOS HÍDRICOS	24
3.1	Mudanças Climáticas: Implicações e Conexões	24
3.1.1	<i>Uma Luz no Túnel: diretrizes e Estratégias para o desenvolvimento Sustentável – ODS</i>	28
3.2	Política Nacional de Recursos Hídricos: um Recorte Sócio Histórico Nacional e Regional	30
3.3	Historiografia das Barragens na Paraíba: Epitácio Pessoa, Coremas Mãe-d’água e Engenheiro Ávidos	39
3.4	Crise Hídrica e Estiagem nas Grandes Barragens da Paraíba nos últimos vinte nove anos (1994 a 2023)	49
3.5	Mapeamento Geográfico das Áreas e Barragens	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES63
4.1	Análises dos dados	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão associadas à influência de fatores naturais, às ações antrópicas e atmosféricas, incluindo o aumento médio da temperatura global da Terra, provocada pelas emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. As instabilidades climáticas na escala temporal apresentam um conjunto de variações estatísticas com tendências sobre as mudanças no sistema climático, e as opções para combatê-las dependem da sua intensidade, durante o período da série temporal estudada.

As consequências das mudanças climáticas incidem em diversos âmbitos e produzem impactos diretos e indiretos, gerando riscos globais e afetando o bem-estar humano na cidade e no campo, pois interferem na saúde, na segurança alimentar, nas culturas agrícolas e no sistema de produção. Além disso, podem ocasionar o aumento das ondas de calor, desastres, inundações, deslizamento de terras, secas, afetando a vida das espécies, considerando que essas condições alteram o ciclo de vida delas, podendo submetê-las à extinção devido à modificação dos habitats, à poluição e às espécies invasoras.

As mudanças climáticas podem persistir por um determinado período, seja curto ou prolongado, ocasionando impactos e riscos generalizados, tais como as estiagens prolongadas, as enchentes e os desabamentos, fatores esses que podem ser identificados no histórico de dados meteorológicos.

Segundo relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) de 2023, as mudanças climáticas promovem o aquecimento global e suas interferências resultam em catástrofes ambientais danosas às regiões e, além delas, resultam em alterações suaves ou monótonas (aumento ou diminuição) dos fenômenos climáticos, os quais interferem nos processos de resiliência, mitigação, adaptação que são evidenciados em valores médios dessas séries históricas de chuvas e temperaturas a médio e longo prazo, podendo ocorrer, a depender da escala geográfica, numa região específica ou maior, sendo confirmados por tendências de séries temporais (IPCC, 2023).

Os países em desenvolvimento estão mais susceptíveis às interferências climáticas, visto que possuem uma menor resiliência e, conseqüentemente, menor capacidade de adaptação do que os países desenvolvidos. Com implicações ambientais e sociais (a exemplo do aumento das desigualdades), há a diminuição da capacidade produtiva de trabalho para a população que se encontra nos nichos de vulnerabilidade e o aumento dos riscos de doenças transmitidas pela água e por vetores.

O assunto das mudanças climáticas é pauta recorrente nos debates ambientais, acadêmicos, nas políticas ambientais e estudos científicos; nesse sentido, os dados sobre a frequência de eventos severos são alarmantes, sinalizando a necessidade da revisão de modelos de desenvolvimento rumo à sustentabilidade, no intuito de se obter avanços futuros.

Essa problemática começa a ser discutida a partir de 1970, especificamente no ano de 1972, na reunião da Organização das Nações Unidas sobre o meio ambiente, realizada em Estocolmo, na Suécia; entretanto, somente em 1987 a ONU criou a Comissão do Meio Ambiente das Nações Unidas, quando foram definidas as premissas para o desenvolvimento sustentável para gerações futuras.

Vale ressaltar que os fatores climáticos interferem, significativamente, nos desastres ambientais de grandes proporções resultantes, sobretudo, das condições geográficas e hídricas em larga escala. Os recursos das bacias hidrográficas e de seus mananciais, considerando que cada uma delas tem uma função hidrológica de abastecimento, captação, armazenamento e distribuição (quantitativa e qualitativa), são submetidos a avaliações sobre os efeitos das alterações climáticas a partir do uso e das perdas na distribuição da água.

O aumento da evapotranspiração ocasiona uma vulnerabilidade hídrica nas barragens, comprometendo a disponibilidade de água de qualidade em diversas regiões brasileiras, em especial, no Nordeste, agravando os cenários climáticos, aumentando substancialmente a temperatura e diminuindo o índice pluviométrico, resultando, portanto, em estiagens prolongadas.

No Brasil, o aumento de temperatura previsto (1°C a 6 °C) associado à emissão de gases, pode intensificar o processo de evaporação à superfície, provocando alterações no balanço hídrico da vegetação natural e das culturas agrícolas e, com o aumento da população, distribuição espacial desigual e falta de manejo adequado, atenta-se para um problema secular que desafia a gestão de recursos hídricos: a garantia universal do acesso à água. Tal consequência apresenta-se de modo mais intenso em regiões onde predomina a agricultura de sequeiro e de subsistência (semiárido nordestino, por exemplo).

É importante destacar que a água é um dos recursos naturais mais impactados pelos efeitos das mudanças climáticas, as quais vêm provocando alterações nos padrões de precipitação, disponibilidade e distribuição da vazão dos rios, além do aumento da ocorrência de eventos hidrológicos extremos que afetam o suprimento de recursos hídricos para os grandes centros urbanos e para as áreas de vulnerabilidade, sobretudo em regiões com o clima semiárido (MORAIS et al. 2022).

Algumas projeções indicam que, ao longo do século XXI, os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos vão reduzir na maioria das regiões subtropicais secas, intensificando a disputa por água entre os setores; os riscos relacionam-se tanto à redução de abastecimento de água não tratada quanto ao da água potável que, devido à interação do aumento da temperatura, sedimentação, concentração de nutrientes e cargas poluentes provenientes de chuvas intensas, mesmo com o tratamento convencional, tem sua qualidade comprometida (JIMÉNEZ CISNEROS et al. 2014).

No âmago dessa problemática ambiental, situam-se os fatores relacionados ao planejamento e à gestão, visto que a administração dos recursos hídricos precisa adequar-se às demandas econômicas, sociais e ambientais, de modo a viabilizar ao cidadão o acesso à água, por meio de políticas e ações que tornem essas mudanças menos agressivas, minimizando o efeito dessas num momento decisivo para as gerações presentes e futuras.

Desse modo, percebemos a relevância na promoção de ações que aperfeiçoem o modo de gerenciamento dos recursos hídricos, administrando os riscos e adaptando-se às variações climáticas, o que demanda sistemas de alocação mais eficientes e flexíveis, além de aumento do investimento em infraestrutura e políticas ambientais, possibilitando tanto o acesso aos recursos hídricos quanto a redução dos danos decorrentes dessas mudanças climatológicas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O Século XXI deve apresentar maiores temperaturas com ocorrências de eventos climáticos extremos, interferindo nos recursos hídricos e ocasionado estiagens prolongadas por *el niño*, inundações, deslizamentos, precipitação, secas e enchentes, que poderão aumentar os riscos de erosão, incêndios florestais, redução do potencial agrícola e da disponibilidade de água para uso diverso, além de trazer prejuízos à saúde humana (IPCC, 2023). Tais alterações climatológicas provocam mudanças no regime de chuvas, considerando que os ciclos hidrológicos estão diretamente associado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço da radiação solar, o que ameaça o suprimento de recursos hídricos, impactando o suprimento e a demanda de água.

Nesse processo de transformações, as Mudanças Climáticas (MC) podem produzir severos impactos sobre os Recursos Hídricos (RH), principalmente quanto à modificação nos padrões de precipitação e temperatura, o que vem sendo motivo de preocupação no meio científico, político e socioambiental em diversas nações em desenvolvimento, como no caso Brasil referência em diversidade hídrica ambiental. (IPCC, 2023).

No contexto ambiental brasileiro, as mudanças climáticas vêm afetando a variabilidade e a disponibilidade de água no país, tanto em termos qualitativos como quantitativos, o que afeta diretamente as populações mais vulneráveis, pois se encontram mais expostas à escassez hídrica, seja por questões geográficas ou pela ausência de saneamento (ANA, 2016).

No semiárido do Nordeste as mudanças climáticas interferem, predominantemente, no bioma caatinga e nas maiores barragens localizadas na região devido à escassez hídrica. O desabastecimento hídrico para consumo humano, assim como a falta de infraestrutura podem afetar a produção de alimentos (sobretudo dos agricultores familiares), a qualidade dos ecossistemas e a saúde humana, desencadeando a propagação de doenças de veiculação hídrica. (CAMPOS et AL, 2023).

Assim sendo, os efeitos da mudança do clima afetam com mais intensidade a escassez de água por meio de alterações nos padrões de precipitação e eventos hidrológicos críticos, resultando em secas mais frequentes, podendo gerar, inclusive, conflitos e disputas intergrupos pelo acesso à água. Neste contexto, mais uma vez, a classe mais atingida é a pobreza, pois se encontra vulnerável e exposta por questões geográficas, políticas e/ou climáticas.

Outros fatores que problematizam os cenários de incertezas climáticas nas barragens são a estrutura institucional da governabilidade hídrica, a organização, o planejamento, a definição das legislações, a falta de envolvimento/participação da sociedade civil e o estabelecimento dos comitês das bacias hídricas, especificamente do Rio Piranhas e do Rio Paraíba; essas barragens encontram-se no centro das discussões devido às demandas de providências para a prevenção de impactos ambientais e socioeconômicos. (CUNHA, 2023).

Considerando os impactos das mudanças climáticas nas maiores barragens do estado da Paraíba, cabe ressaltar que, a depender da intensidade com que eles aconteçam, os gestores públicos não estão preparados para enfrentar os possíveis cenários futuros de indisponibilidade hídrica. As demandas por água nas maiores barragens paraibanas trazem à tona a necessidade de um planejamento como medida adaptativa e eficaz para reduzir a vulnerabilidade da população e, para isso, é imprescindível o envolvimento das organizações da sociedade civil em escala estadual e global.

A situação das barragens paraibanas é caracterizada pela baixa oferta hídrica nos mananciais, no entanto, também é fruto da falta de gestão, bem como escassez de medidas de enfrentamento e irresponsabilidade socioambiental dos gestores sobre as questões climáticas. Este cenário, no futuro, pode implicar no desabastecimento das populações mais vulneráveis, que resultam na intensificação da perda de água pela evaporação e desperdício (BEZERRA, 2019).

Diante disso, a partir dos enfoques analisados, buscamos sistematizar a seguinte questão: *como as mudanças climáticas e suas implicações impactaram os recursos hídricos das barragens Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe d'água na região semiárida do estado da Paraíba?*

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GERAL

Analisar como os cenários de implicações das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos das maiores barragens do estado da Paraíba: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe d'água.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Identificar, através de dados estatísticos, os períodos de séries temporais, os eventos climáticos relacionados à crise hídrica nas Grandes Barragens da Paraíba nos últimos vinte nove anos entre (1994 a 2023).
- Analisar os índices de pluviosidade das barragens no intervalo da série temporal de 29 anos (1994-2023), através do pacote linguagem de programação R estática e gráfica.
- Analisar os índices de volumes mensais nas Barragens integrantes das regiões das Barragens Epitácio Pessoa, Engenheiro Ávidos e Complexos Coremas Mãe D'água, por meio de modelagem estatística de Sarima e Arima, no espaço temporal de 11 anos entre (2012-2023).

1.3 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema para este estudo sistemático tem relevância tanto no campo teórico-metodológico, quanto na construção de conhecimento científico e intervenção social, por se tratar de uma temática bastante contemporânea e global.

Vale salientar que o avanço nas condições de vida da civilização acelerou o crescimento demográfico, provocando ameaças significativas devido às demandas por recursos naturais, às oscilações dos problemas ambientais, ao aumento do efeito estufa (o qual altera a temperatura média do planeta) e ao consumo desenfreado dos recursos hídricos.

Nesse sentido, de um modo geral, toda a sociedade é afetada pelo desequilíbrio climático, pois os problemas têm impacto direto no abastecimento de água da população, isto é, depara-se com a escassez do recurso para consumo humano e animal, afetando a saúde e a qualidade de vida das pessoas, ampliando as assimetrias no contexto social como um todo.

Assim, esta pesquisa visa contribuir para a implementação de medidas, em forma de políticas públicas, em todos os níveis de governo, na perspectiva de, juntamente com os setores da sociedade civil, almejem enfrentar os danos climáticos. Tais ações devem ser implementadas de modo integrado, levando em consideração a importância da promoção do desenvolvimento social e econômico sustentável com as devidas precauções ambientais, essenciais para a garantia da qualidade de vida da população em escala regional.

As discussões travadas neste estudo sinalizam para a adoção de novas estratégias de gestão hídrica, vislumbrando os cenários futuros de probabilidade de uma profunda crise hídrica, comprometendo a salubridade e a dignidade humana. Essa realidade demanda, portanto, a ampliação de pesquisas capazes de agregar indicadores e parâmetros numéricos da situação atual, apontando causas e condições e propondo soluções interventivas nos três maiores mananciais hídricos da Paraíba.

Cabe ressaltar que, diante dos cenários hidro climáticos já adquirido sobre a efetiva aplicação dos modelos de previsão de vazões das bacias hidrográficas brasileiras, os cenários de mudanças climáticas e suas implicações apontam para a ocorrência de alterações no regime de escoamento, no entanto, é improvável que se determine a taxa pluviométrica de magnitude desses efeitos nos cenários socioambientais dos recursos hídricos do estado da Paraíba em um curto espaço temporal. (FRANCISCO e SANTOS, 2017).

Diante disso, considerando a ampliação do debate acadêmico-científico promovida pelos estudos sobre as mudanças climáticas, o que torna a temática recorrente nas agendas de todos os segmentos geográficos e sociais, o estudo tem como base a análise dos cenários de

interferências e as implicações das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos das maiores barragens do estado da Paraíba: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe d'água.

2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada a pesquisa exploratória e descritiva, no intuito de responder os questionamentos levantados nos objetivos geral e específicos. A obtenção dos dados aconteceu por meio de trabalho de campo e as informações coletadas foram submetidas a uma abordagem analítica e quanti-qualitativa, no intuito de identificar os cenários e implicações das mudanças hidro climáticas nas barragens de Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe D'Água.

Ainda para a elaboração deste estudo, foi realizada uma ampla pesquisa bibliométrica, a qual compreendeu materiais nacional e internacional, além de documentos oficiais, provenientes de banco de dados de órgãos públicos governamentais, tais como: a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), a Agência Nacional de Águas (ANA), a Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Serviram-nos como fontes de pesquisas também os periódicos da CAPES, sobretudo quando buscamos analisar as variações estatísticas dos últimos quatro censos demográficos realizados no estado Paraíba, as séries temporais dos índices de chuvas, volume, abastecimento, capacidade hídrica, perdas por evaporação e, ainda, fatores ambientais e antrópicos climáticos, nas últimas três décadas.

Para a localização dos municípios sedes das barragens e das bacias hidrográficas, utilizamos a versão do software *Qgis* 2.8, além do programa estatístico R, o qual demonstra através da linguagem R, através das coletas, tratamento das análises de um conjunto de dados em gráficos conjugados de série temporal, atribuindo valores às médias dos volumes percentuais das barragens por ano, aos índices pluviométricos em milímetros anuais dos municípios integrantes das bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Piancó e Piranhas.

Com o propósito de analisar os dados mensais da AESA acerca dos volumes das barragens de engenheiro Ávidos, Complexo Coremas Mãe d'água e Epitácio Pessoa (integrantes das bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Piancó, Piranhas) usamos o padrão de modelagem estatística de SARIMA (Modelo Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis com Sazonalidade).

Ainda no aspecto de instrumentalidade, tivemos o auxílio do Teste de *Mann-Kendall e Dickey-Fuller*, utilizado para observar as séries de não-estacionariedade que atribui a tendência na série temporal e que se adequa melhor na incorporação das funções de equações matemáticas para as ordens volume e sazonalidades, ciclos climáticos e variações próximas às barragens, correspondendo ao período de intensos fenômenos climáticos dos últimos 12 anos (janeiro de 2012 a março de 2024).

As séries mencionadas são definidas e classificadas em três categorias de componentes não observáveis: Tendências (T_t), Sazonalidade (S_t) e variação aleatória, ou Ruído Branco (ϵ_t); escolhido o modelo matemático e definidos os critérios de elaboração de relação de aditivos das categorias dos componentes citados ($Z_t = T_t \times S_t \times \epsilon_t$), transformação dos componentes em um logaritmo que resultará em uma equação de modelo multiplicativo, posteriormente convertido em um modelo log-linear que, por fim, ao analisar, resulta numa equação de séries temporais históricas.

Nesse contexto, a cada modelo de série temporal deve ser atribuída a situação que deve ser considerada: séries estacionárias e não estacionárias adaptação ao estudo, sendo os dois critérios mais apropriado ao estudo de serie temporal; o modelo de séries não estacionárias deve ser definido quando o período da série demarcada oscila na média e depois muda de patamar (diferença da série); entretanto nem sempre há uma estacionariedade a depender nem sempre, pois se haver uma única diferença de serie pode torna-la estacionaria, já quando a série não estacionária estabelece relação de tendência, para convertê-la em estacionária é necessário transformar em uma segunda diferença. (MORENTTIN; TOLOI, 2004).

Nesse caso, o Modelo de Sarima é indicado ao estudo devido à sazonalidade, a qual, quando ocorre, incidem em múltiplos períodos, considerando o modelo classificado em um componente estocástico (MORETTIN; TOLLOI, 1985;2004; 2006).

As análises de séries históricas temporal, requer um intervalo de tempo conjugado a uma sequência de dados obtidos ao longo do tempo e, para isso, devemos utilizar como parâmetros da série temporal o fenômeno climático a ser estudado, no qual as análises nos fornecerá uma descrição do comportamento da série e suas médias estimadas, tendo em vista uma relação de causa e efeito que, segundo Yin (2001), é sequência de modelo de família SARIMA e o que melhor se adequa às previsões e estimativas de representação de modelos e diagnósticos de perfis de séries, residuais, previsões, tendências e estimativas.

Para Box et al. (2008), a modelagem estatística de SARIMA é determinada por uma série proveniente da série temporal: z_1, z_2, \dots, z_N , na qual, observamos os intervalos de tempo igualmente espaçados, onde o operador de retardo B é definido por $Bz_t = z_{t-1}$, isto é,

$Bmz_t = z_t - m$; nas séries temporais de sazonalidade, o período utiliza o operador $BSz_t = z_t - S$. Além disso, o operador de diferença ∇ é definido por equações $\nabla z_t = z_t - z_{t-1} = (1-B) z_t$ (diferença de ordem 1) e o de diferença sazonal ∇_S é definido por $\nabla_S z_t = z_t - z_{t-S} = (1-BS) z_t$ (diferença sazonal de ordem S). Nesse aspecto, Morettin (2006) define que os modelos sazonais multiplicativos autorregressivo integrado as médias móveis (SARIMA) e (ARIMA), têm a forma geral:

$$\phi_p(B)\Phi_P(BS)\nabla^d\nabla^D S z_t = \theta_q(B)\Theta_Q(BS)a_t.$$

Entretanto, de acordo com Box et al. (2008), uma equação que se baseia por S (sazonalidade), por exemplo, para dados mensais, $\Phi_P(BS)$ e $\Theta_Q(BS)$, são polinômios em BS de graus P e Q , respectivamente. $\phi_p(B)$ e $\theta_q(B)$ são polinômios em B de graus P e Q , respectivamente; $\nabla_S = 1-BS$ e $\nabla = 1-B$; Deds ao as respectivas ordens de diferenciação sazonal e diferença simples e a_t é uma série de choques aleatórios ou ruído branco. onde o modelo da equação é dito ser da ordem $(p,d,q) \times (P,D,Q)$ s.

Desta maneira, a obtenção desse modelo está atrelada a uma da série temporal, seguida de uma estratégia estruturada com processo iterativo, no qual a escolha da estrutura do modelo se baseia nos próprios dados. Assim, as fases do processo consistem na especificação da classe geral de modelos, que identifica um modelo respaldado nas análises de auto correlações integrais e parciais, estimadas a partir dos parâmetros do modelo de verificação, através de uma análise dos resíduos de modelo, no sentido de fornecer o menor equívoco de previsão.

Neste sentido, foi adotada a metodologia de modelagem SARIMA que, segundo Morettin e Toloí (2006) e Diggle (1992), é o melhor método para calcular as médias das séries temporais estacionárias e não estacionárias com sazonalidade dos volumes hídricos das barragens de engenheiro Ávidos, Complexo Coremas Mãe d'Águas e Epitácio Pessoa, onde constatamos, por meio de comparações, os modelos de previsão na série temporal de monitoramento de barragem, resultando em modelos gráficos temporais de sazonalidades, em perfil de volumes (%) de séries estacionárias e não estacionárias e em previsões do comportamentos de séries dos volumes das cotas (em %) das barragens para os próximos 12 meses, com perfis de residuais e de tendências.

Vale ressaltar que um dos princípios basilares da modelagem de SARIMA são as observações que se encaixam nos modelos replicados no estudo: estacionariedade e não estacionariedade, os quais são aplicados tanto no teste de Mann-Kedall, utilizado para verificar

as tendências de séries temporais sob as hipóteses de séries independentes, distribuída na série que possui alguma tendência monotônica ao longo do tempo; como também no teste de Dickey-Fuller, utilizado em série auto regressiva que não se rejeita a hipótese nula de não-estacionariedade, ou seja, não estacionária.

O uso do teste Mann-Kedall (MK) no presente estudo se deve à constatação de SNEYERS (1975), sobre as tendências das variáveis das séries temporais mensais, com prevalência de ARIMA, onde a variável é dependente para as condições das sazonalidades, hídricas, climáticas e meteorológicas das regiões das três maiores barragens paraibanas, com prevalência das amostras e dados estudados (superiores a 5% de probabilidade), nas barragens com medições dos volumes em % e precipitação em mm, entre 11 e 29 anos; assim, o método configurou-se como o mais adequado, pois permite mais análises de previsões climáticas mais precisas, possibilitando a detecção e localização de tendências, considerando as hipóteses e séries de dados da mesma série estática, classificada numa equação de S :

$$S = \sum \sum sig (xi - xj)$$

Na equação, x_j representa valores dados às sequências em n e o comprimento da série de tempo é o sinal $(xi - xj)$ e 1 para $(xi - xj) < 0$ para $(xi - xj) > 0$; o tempo médio será $E[S]$ e a variância $V[S]$ de estatística S , determinada de acordo com as equações:

$$E[S] = 0$$

$$Var[S] = n(n - 1)(2n + 5) - \sum q p = 1 tp(tp - 1)(2tp + 5)$$

Em T_p é o número de ligação para os valores de ordens em que P e Q é o número de valores que se relacionam; no segundo quesito é a representação de um ajuste para os dados ligados ou censurados que é representado e padronizado, estatisticamente, por (Zmk) e pela equação:

$$Zmk = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{var(S)}} & \text{se } S > 0 \\ S & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{var(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Na presença de uma tendência estatística que seja significativa utiliza-se o valor Zmk , esta probabilidade é inserida em uma hipótese nula quando existir uma tendência; já um valor positivo Zmk , indica uma tendência de aumento, enquanto o negativo, uma tendência decrescente.

Para experimentar o aumento ou a redução de uma tendência monotônica de nível de significância p , a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto Zmk for maior $Zmk > |p|/2$. Em resumo, os níveis de significância $P=0,01$ e $0,05$ são aplicados e a magnitude das tendências são resultados a partir da equação:

$$\beta = \text{Median} [(X_j - X_i)] \\ \frac{\text{paratodoi} < j}{[(j - i)]}$$

O teste estatístico utilizado nesta pesquisa foi o de estacionariedades Dickey-Fuller, no qual se testa a hipótese nula da raiz unitária de série, onde a não rejeitada será uma raiz de série unitária, geralmente não será estacionária; entretanto, para evitar um auto correlação dos resíduos, é utilizado o teste ADF (Dickey-Fuller Aumentado), que se resume a equação da defasagem para eliminar os problemas de auto correlação dos resíduos.

De acordo com Arêdes; Pereira (2008), o teste mais adequado para o uso é o de análises da estacionariedade em séries temporais quando os resultados dos coeficientes de auto correlação integral e parcial são construídos em seus respectivos correlogramas: FAC (Função de Auto correlação) e FACP (Função de Auto correlação Parcial), que resultam as inspeções gráficas das defasagens.

Existem várias classes de modelos de auto correlação sugeridos e propostos por Box e Jenkins (1970), os quais propõem as teorias das formulações dos componentes de auto regressão das médias móveis de modelagem de séries temporais, que se utilizam de duas ideias básicas metodológicas na construção dos modelos: a parcimônia, que utiliza o número menor possível para a obtenção de um representação do fenômeno climático e as interações que serão estudadas; nele, as informações empíricas são analisadas teoricamente, e o resultado dos estágios e dos fenômenos climáticos durante o intervalo dessa série temporal é determinado e confrontado diante de sucessivas práticas, até chegar a um modelo satisfatório, cuja representação se explica por meio da equação:

$$y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + \dots + a_p y_{t-p} + \varepsilon_t + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q}$$

A equação, em que os termos a_0 , é representada por uma constante no modelo estimado (a_1 até a_p), que são os parâmetros definidores dos valores passados Y_t do instante imediato que anterior, até o mais distante definido por p e ε_t , e a porção que se controla no modelo (chamado de ruído branco), quando a série não apresenta uma estacionariedade; seguido dos parâmetros β_1 e β_q , resultam em uma série da função dos choques do passado e, em resumo, cada ε_t é classificado como uma distribuição normal, média, zero, variância constante e não correlação (SANTOS, 2015).

Em se tratando de modelo mais adequado para aplicação no presente estudo, compreendendo os ajustados para a série das sazonalidades e variáveis climáticas nas três maiores barragens do estado da Paraíba, foi o Informação Akaike - AIC (AKAIKE, 1974), que faz uso do critério de informação Bayesiano (BIC) e o Erro Quadrático Médio e previsão (EQM), definidos por Priestley (1989).

Diante do exposto, os modelos aplicados adequaram-se à temática proposta, apresentando erros mínimos de AIC, BIC e EQM; a relevância deve-se ao enfoque nas escolhas que devemos considerar nos modelos mais ponderados e precisos, o que reduz o montante de trabalho e os parâmetros a serem estimados, com um considerável e importante ajuste.

3 A INTERFACE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS

3.1 Cenários de Mudanças Climáticas: Implicações e Conexões

Os cenários de mudanças climáticas influenciam na permanência e atribuições dos níveis de excelência de eventos climáticos, por esta razão, podem ser úteis em estudos ambientais, apresentando as curvas de frequência acumuladas e comumente empregadas para descrever os eventos climáticos, sejam eles extremos ou moderados, de um determinado sistema hídrico.

É importante assinalar que as mudanças climáticas e a dinâmica da sua variabilidade, mesmo dentro do previsto, podem ocasionar reflexos significativos nas atividades humanas; assim, para determinar a necessidade dos recursos hídricos é preciso realizar um estudo da evapotranspiração, pois ela depende, fundamentalmente, das condições microclimáticas, tais como precipitação, velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar (PEREIRA *et al.*, 2019).

Desse modo, nos estudos que tomam por base uma abordagem quanti-qualitativa, as pesquisas exploraram essas curvas, analisando dados estatísticos que qualificam a água que é evaporada em rios, açudes e reservatórios (CUNHA; DODDS; CALIJURI, 2011). Enquanto isso, em outros estudos, avaliam o risco percentual de incompatibilidade dos resultados de monitoramento com padrões de qualidade (ZHANG & ARHONDITSIS, 2008) como, por exemplo, com os padrões estabelecidos pelo Brasil por meio da Resolução CONAMA nº 357/2005 (CUNHA & CALIJURI, 2010).

Em análise das mudanças climáticas ocasionadas por fatores naturais, bem como as alterações diante dos sucessivos desastres ambientais que impactam diretamente nas ações de adaptação, mitigação e resiliência hídrica, provenientes da incidência da radiação solar na região dos trópicos equatoriais, além das ações antrópicas e suas influências na expansão dos gases do efeito estufa, consideramos os principais fatores do aquecimento global, fenômeno que vem crescendo nos últimos anos, desencadeando o aumento das taxas de evaporação e precipitação, tornando algumas regiões mais úmidas, enquanto, simultaneamente, outras enfrentam períodos de estiagem intensa.

Vale destacar que as ações antrópicas, ocorridas em grandes áreas urbanas, contribuem para o atual cenário climático que, aliado à falta planejamento governamental, colabora, substancialmente, para os agravos socioambientais, inclusive, hídricos, o que potencializa a incidência de ciclos de desastres ambientais, provocando impactos climatológicos, sobretudo, para a população mais vulnerável (falta de água potável, ausência de saneamento e proliferação de doenças ligadas à água), acentuando ainda mais a desigualdade social (BUGGE e BARBOSA, 2013).

Segundo Jacobi e Nascimento (2016), as mudanças climáticas decorrem dos fatores chamados “riscos anunciados”, trazendo à tona o papel da gestão ambiental na administração dos cenários desses riscos anunciados, assim como dos desastres de forma mais urgente devido ao aumento da ocorrência e da intensidade de eventos extremos que põem em risco as populações de áreas vulneráveis; tal iniciativa demanda avanços na gestão preventiva hídrica, a médio e longo prazo, principalmente na governabilidade ambiental, que possibilite o desenvolvimento da capacidade adaptativa das sociedades contemporâneas.

Essa problemática constrói um cenário de intensificação de eventos ambientais extremos, como: a maior seca dos últimos cem anos, ocorrida no Nordeste entre 2012 e 2018; os incêndios florestais descontrolados, ocorridos na Amazônia em 2019 e no Pantanal em 2020; os ciclones tropicais, na região Sul; as fortes e históricas inundações no Rio Grande do Sul, o que se deveu também à transição brusca entre a seca provocada pelo el niño e um intenso

período chuvoso na região, ocorridos partir de 2020; além desses desastres, destacamos ainda a estiagem no Rio Amazonas desde 2021, aliada às tempestades tropicais, inundações, ondas de calor, secas, nevascas, furacões, tornados e tsunamis em cadeia global, tendem a se tornar mais frequentes, podendo acarretar a extinção de diversas espécies de animais e plantas. (SILVA, 2021).

Devido a essas questões ambientais, sofrem interferências a qualidade do solo e da água para o uso humano, provocando também a poluição do ar, comprometendo a agricultura, com a irregularidade de chuvas e diminuição de recarga hídrica nas barragens, fatores que incidem diretamente na economia dos países, em especial dos periféricos, pois refletem na produção de alimentos e na geração de energia elétrica.

Outro agravante ocorre nos ciclos hídricos, tendo em vista que aumentam os níveis de vapor de água na atmosfera, tornando a disponibilidade deste recurso cada vez menos previsível, ou seja, à medida que a evaporação aumenta, altera a umidade do solo, o escoamento, o regime de chuvas e, conseqüentemente, a disposição de água para o consumo humano, provocando desequilíbrios regionais, pois enquanto algumas regiões enfrentam chuvas torrenciais, outras são acometidas de secas graves, especialmente durante o verão.

Em decorrência do aquecimento global e do aumento da emissão de gases do efeito estufa, o calor retido na atmosfera acaba sendo armazenado nos oceanos, afetando a temperatura e a circulação da água, além de acelerar o processo de derretimento das calotas polares. Essa situação resulta na entrada de água doce nos oceanos, alterando as correntes marinhas e o ciclo hidrológico, acarretando também no aumento do nível do mar em regiões litorâneas.

Diante da emergência por medidas, planos, políticas e ações para o enfrentamento das alterações climáticas, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu metas de desenvolvimento sustentável na Agenda 2030, a fim de buscar soluções urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos socioambientais e infra estruturais, o que reforça a necessidade de intervenções mundiais no intuito de promover a conscientização e a mudança de hábitos para a economia de água, preservação de recursos naturais e redução dos desajustes das resiliências climáticas e suas desigualdades, o que demanda apoio da população para que se gerem efeitos significativos contra as desigualdades econômica e ambientais, visando um caminho de desenvolvimento e proteção dos ecossistemas hídricos (IPCC, 2023).

Os avanços temporais das ações antrópicas e a poluição das margens e dos cursos dos rios que já passam por processos impactantes em suas bacias hidrográficas, são alguns dos acontecimentos, com resultados imprevisíveis, que resultam em problemas ambientais,

sobretudo, hídricos (BARBOSA et al, 2020). Além disso, o aumento no estágio de degradação e a maior demanda por água vem tornando a qualidade deste item vital precária e reduzindo drasticamente o seu volume, entretanto, o avanço tecnológico traz consigo ferramentas que fortalecem e respaldam o desenvolvimento de estudos sobre o gerenciamento dos recursos hídricos (LOURENÇO et al, 2011).

No contexto paraibano, onde cerca de dois terços do território se encontram na região semiárida (que passa por problemas de escassez hídrica, ocasionada pelo fenômeno el niño entre 2012 e 2018), as três maiores barragens abastecem, juntas, cerca de 1,5 milhão de habitantes em 120 municípios do estado, cujo problema de abastecimento e racionamento ocorrera no final dos anos 90 e também entre os anos de 2014 e 2018, amenizando, por meio de políticas públicas, com a chegada das águas da transposição do Rio São Francisco na Paraíba, no ano de 2017 (MORAIS, 2022).

Um fator que também interfere no acesso e distribuição de água é o crescimento populacional sem planejamento. Na Paraíba, segundo dados censo do IBGE de 2022, houve um aumento demográfico populacional de 3.974.405 habitantes, o que representa um acréscimo de 5,52% em relação a 2010; tal avanço demográfico amplia a demanda hídrica e sobrecarrega os mananciais das grandes bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Piancó e Piranhas, em especial as grandes barragens do Complexo Coremas Mãe d'água, Epitácio Pessoa e Engenheiro Ávidos (IBGE, 2022).

Essa situação agrava-se ainda mais em centros urbanos de regiões áridas/semiáridas de países em desenvolvimento, como é o caso de grande parte do Nordeste brasileiro, sobretudo na Paraíba, em que as condições climáticas, aliadas a sistemas de abastecimento obsoletos e à inadequação ou ausência de um planejamento urbano sensível aos recursos hídricos, determinam o surgimento de graves problemas de abastecimento, dificultando o suprimento das necessidades da população, tanto no quesito volume quanto no fator qualidade (ALMINO; RUFINO, 2021).

Desse modo, é essencial que haja intervenção efetiva no intuito de se promover iniciativas e projetos de segurança hídrica que conscientizem o reflorestamento às margens dos mananciais e reservatórios, a médio e longo prazo, e não somente realização de obras no setor apenas em emergências, reduzindo, assim os impactos ocasionados pelas mudanças. Nesse aspecto, cabe tanto ao poder público planejar e executar políticas públicas de prevenção e racionalização, como também aos organismos não-governamentais o desenvolvimento de estratégias que visem a preservação dos recursos hídricos, como é o caso da Organização de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecida pela agenda 2030 da ONU.

3.1.1. Uma luz no túnel: diretrizes e estratégias para o desenvolvimento sustentável – ODS.

No âmbito das estratégias para o desenvolvimento sustentável no contexto global, a questão hídrica tem sido pauta recorrente nos debates e discussões no âmbito científico e demais segmentos da sociedade, em meio aos cenários e implicadores das mudanças climática resultantes de causas naturais e atividades antrópicas, constata-se que as regiões áridas e semiáridas serão mais afetadas com a escassez de água, sendo motivo de conflitos e disputas políticas, como é o caso da região semiárida do Nordeste.

A literatura e os indicadores quantitativos apontam muitas consequências das mudanças climáticas sobre os recursos naturais e o meio ambiente, com novos fenômenos ocasionados por eventos climáticos extremos, como a escassez de água potável, o aumento de inundações e também do nível do mar, a intensificação das secas, a ocorrência de incêndios e a perda da biodiversidade, situações que demandam planos de ações urgentes que propiciem uma gestão eficaz desse recurso.

Nessa perspectiva, direcionamos esta análise para as grandes barragens do estado da Paraíba: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe D'água, localizadas na região semiárida paraibana, a qual enfrentou recentemente a maior e mais prolongada estiagem dos últimos cem anos, o que provocou um “efeito cascata” na economia e no âmbito social; contudo, o aspecto hídrico tem se destacado sob uma ótica mais reflexiva, tendo em vista que se inseriu como um dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS -2030).

A ODS foi criada por meio da Resolução 70/1, da Assembleia Geral das Nações Unidas e, posteriormente, reafirmada com a inserção do parágrafo 54, da mesma resolução, em 25 de setembro de 2015. Em seguida, na Agenda 2030 da ONU, foi modificada tratando como objetivo a prática de estratégias para o desenvolvimento sustentável de modo global, traçando um total de 17 metas que abrangem temáticas sobre o desenvolvimento social e econômico, pobreza, fome, educação, aquecimento global, igualdade de gênero, água, saneamento básico, energia, urbanização e meio ambiente (SILVA, 2021).

As ODS ambientais têm o intuito de relacionar as diretrizes e estratégias para o desenvolvimento sustentável, além de estabelecer metas e objetivos no âmbito dos recursos hidro climáticos, ampliando suas especificidades em cada eixo sustentável, não deixando nenhum objetivo fora do prazo, equilibrando os implicadores hídricos e ambientais,

correlacionando as políticas nacionais e regionais desses recursos de acordo com recorte social regional e nacional.

Para o embate frente a essa problemática, são estabelecidas, a médio e longo prazo, as Diretrizes e Estratégias para o desenvolvimento Sustentável, que buscam garantir a disponibilidade de água potável para todos, assim como a gestão sustentável deste recurso, propiciando o saneamento e a qualidade hídrica a partir da gestão integrada dos recursos (GIRH), dos ecossistemas relacionados e do entorno dos rios e barragens.

A Agenda 2030 tem como instituição fundante a ONU e seu principal objetivo é atingir o processo de desenvolvimento sustentável, o que surge como uma luz no fim no túnel, diante dos impactos socioambientais globais, especialmente sobre os recursos hídricos, os quais têm sido submetidos à escassez, agravando-se em escala mundial devido ao crescimento populacional, ao processo de industrialização, como também à falta de eficiência na gestão e à ausência de educação ambiental.

Nesse contexto, destacamos a meta de número 13, a qual define ações perante as mudanças climáticas, nos países que se comprometeram a realizar um acompanhamento e uma revisão sistemática dos avanços para a conquista das ODS e suas metas, utilizando um conjunto de indicadores globais. Essa Iniciativa da ONU-Água aponta, principalmente, para os países mais pobres para o Monitoramento Integrado das ODS 6 e 13.

Além disso, a meta citada agrega medidas de melhorias no âmbito da educação ambiental, ampliando o nível de conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação global dos fenômenos climáticos, adaptação e redução dos impactos, alertando, com antecedência, acerca das mudanças climatológicas.

Quando tratamos especificamente do desenvolvimento sustentável na esfera hídrica, a ODS 2030 aborda na meta 6, Água Limpa e Saneamento, que busca garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos. Sabendo que bilhões de pessoas não têm acesso nem à água potável nem à saneamento básico é necessário, também, a adoção de práticas para o uso racional da água, buscando evitar uma futura escassez e reduzir o índice de poluição da mesma, aspectos que afetam a saúde das pessoas e do meio ambiente.

Nessa perspectiva, associando a temática hídrica aos direcionamentos da ONU, destacamos a seguir alguns dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos para efetivação até o ano 2030:

- Conseguir o acesso universal e equitativo à água potável a um preço acessível para todos;

- Alcançar o acesso equitativo a serviços de saneamento e higiene adequados para todos e pôr fim à defecação ao ar livre;
- Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição e aumentando a reciclagem e a reutilização sem riscos em âmbito mundial.
- Aumentar o uso eficiente dos recursos hídricos em todos os setores e garantir a sustentabilidade da extração e do abastecimento de água doce.
- Ampliar a cooperação internacional e o apoio prestado aos países em desenvolvimento.

Já quando tratamos do aspecto de mudanças climáticas, a meta 13 nos propõe a prática de medidas urgentes de combate aos seus impactos global e regionais, estipulando que, também até 2030, se promova o fortalecimento da adaptação aos riscos provocados pelos desastres naturais, adotando-se estratégias e planos nacionais relativos a esses fenômenos, se invista em educação sobre tais situações, para que sejam reduzidos seus efeitos e emitidos alertas antecipadamente e, ainda, se aumentem a capacidade de planejamento e gestão desses cenários nos países menos desenvolvidos.

Diante do exposto, cabe salientar que, na esfera regional, a ANA (2019a, p.32) também se compromete com os objetivos globais, prometendo, “até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores, assegurando retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez”, demonstrando consonância com o propósito da sustentabilidade global e coerência com as orientações da ONU.

3.2 Política Nacional de Recursos Hídricos: um Recorte Sócio Histórico Nacional e Regional

A água é um recurso natural limitado, essencial à vida humana e, portanto, indispensável para a manutenção de uma cadeia de setores, tais como social, econômico, agrícola, industrial e de piscicultura, entretanto diante das falhas do poder público frente à gestão deste recurso, associadas aos fenômenos climáticos naturais e intensificadas por ações antrópicas, têm-se enfrentado crises hídricas provenientes de estiagens prolongadas, o que tem demandado debates no meio acadêmico, jurídico e político nos últimos trinta anos, tanto a nível nacional quanto na esfera estadual (BRAVO e CERVI, 2019).

Diante disso, é de suma relevância a construção de políticas públicas de regulação de águas no Brasil, o que teve origem a partir dos anos de 1930, durante a gestão do presidente

Getúlio Vargas, o qual assinou o decreto 24.643, de 10 de julho de 1934, considerado um marco na área jurídica quando se trata de assuntos hídricos, tendo em vista que resultou no Código de Águas Brasileiro, cujo objetivo era a definição da forma como as águas públicas deveriam ser usadas.

Desde meados do século XX, o Estado brasileiro vem buscando regulamentações acerca da valorização dos recursos hídricos, entretanto a implementação só aconteceu mediante as crises decorrentes das secas prolongadas entre o final do século XIX e início do XX, especialmente na região Nordeste do Brasil, onde se potencializa devido, também, ao contexto socioeconômico.

Na primeira metade do século XX, devido tanto à transformação do modelo econômico agrário industrial brasileiro quanto à forte migração para as áreas urbanas das grandes cidades, o crescimento demográfico resultou em uma grande demanda hídrica e energética para o abastecimento humano nas grandes cidades brasileiras (BRASIL, 1997).

Nesse contexto, a problemática das políticas públicas hídricas nacionais vai intensificar, mais fortemente, atrelada a questões ambientais e sociais, organizadas, principalmente, por grupos ambientalistas verdes que, nos anos 1980 e 1990, atuaram intensamente na reformulação de políticas ambientais nacionais com pautas hídricas. Assim, a emergência climática e os problemas socioambientais globais introduziram um novo discurso ambiental após a Conferência de Estocolmo (1987), onde foram discutidas questões ambientais relacionadas ao desmatamento da Amazônia, à poluição em Cubatão e ao assassinato de Chico Mendes (1988), o que gerou uma preocupação e conscientização da população como um todo.

Os impasses gerados na discussão a respeito das questões ambientais resultaram na RIO-92 que, com descrições acerca dos fatores emergenciais climáticos do meio ambiente e da deterioração dos recursos naturais, deu passagem ao documento Agenda 21, cujo conteúdo consiste em programas de políticas públicas de desenvolvimento ambiental por meio de consenso mundial, com comprometimento político e cooperação entre as nações e formulações de propostas de leis ambientais na Constituição Brasileira de 1988, entre as quais podemos mencionar a “Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil” (nos artigos 20 e 26), retomada, posteriormente, na Lei 9.472/1997, que promoveu ajustes na legislação hídrica brasileira, com o intuito de analisar as utilidades do domínio econômico e social da água (MASSA-ARZABE, 2006).

Outro avanço significativo na gestão hídrica nacional foi a Institucionalização da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que, conhecida como Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a qual estabeleceu instrumentos para a administração hídrica

no domínio federal (ultrapassam um estado ou fazem fronteira), e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), formado por órgãos colegiados que deliberam sobre o uso da água de forma democrática e participativa, sendo responsável, ainda, pela implementação da Política Nacional das Águas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos respaldou-se no modelo francês para instituir os parâmetros legais do poder público e privado sobre as águas, isto é, deixou à mercê da administração dos estados da federação o gerenciamento dos modelos de comitês de bacias hidrográficas, a gestão hídrica, as cobranças do manuseio consciente, os sistemas de informação, a resolução de conflitos, os enquadramentos dos corpos d'água, a fiscalização, a exploração, o contingenciamento de crise e o direito da população prioritária do acesso à água em períodos de estiagens prolongadas ou em qualquer magnitude evento de escassez. (FIGUEIREDO, 2019).

Tal institucionalização assegurou, ainda, as diretrizes da gestão integrada nos aspectos quantitativos e qualitativos da água, de modo a garantir o atendimento às demandas hídricas, no intuito de desenvolver a preservação do meio ambiente e promover o desenvolvimento sustentável de uma região em relação aos recursos hídricos disponíveis (MELO, 2022).

Em julho de 2000 foi criada a Lei 9.984, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional das Águas (ANA), autarquia federal responsável pelos atos normativos de fiscalização e controle hídrico dos comitês de bacias hidrográficas e rios interestaduais; ela atua sobre os recursos hídricos, garantindo direito ao voto aos integrantes dos comitês de representação de bacias hidrográficas em eventuais secas; desses votos, 40% emanam da união, estados e municípios, 40% das atividades econômicas e representantes chamados usuários e 20% é advém da sociedade civil. Esses comitês representam mudanças nas políticas públicas de recursos hídricos, suprindo as demandas sociais da população no sentido de garantir o direito aos serviços de abastecimento de água e saneamento básico em períodos de escassez (CAUBERT, 2004).

O contexto histórico de políticas públicas de proteção à água mostra que o Brasil é deficitário neste quesito, evidenciando a necessidade de discussões acerca da preservação das nascentes e sobre os desmatamentos das matas ciliares nos percursos dos rios e ecossistemas e dos assoreamentos das barragens. Conforme trata Bugge (2013), os princípios protetivos dos corpos d'água, rios, barragens e ecossistemas vêm do âmbito jurídico, com uma legislação mais severa que delegue esforços ininterruptos do estado e atribuam direitos e elementos de valores intrínsecos não antropogênicos.

Outro fator observado no ordenamento jurídico das políticas hídricas no Brasil é a execução e fiscalização das garantias do acesso à água, assegurado na Constituição como direito ao abastecimento e à água tratada, de modo ininterrupto, às populações e comunidades; esse reconhecimento e proteção dos direitos aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, de qualquer extensão dos rios e suas funções, é uma premissa fundamental (BOYD, 2017).

As irregularidades pluviométricas, a alta variabilidade espacial e temporal de chuvas, o solo pedregoso altamente concentrado em sais minerais e as estiagens prolongadas são fatores que inviabilizam o armazenamento de água nos subsolos da região do semiárido brasileiro; além disso, outro agravante que prolonga tal situação é a cultura de decisões políticas centralizadas e autoritárias no que tange à alocação dos bens e recursos públicos voltados às estratégias de execução e intervenção do poder público no território que enfrenta dificuldades no abastecimento de água, consumo e produção (SILVA, 2018).

Assim, quando nos remetemos ao aparato legal, em especial na região citada, percebemos que a execução de políticas públicas para o setor hídrico foi mais efetiva nas gestões dos presidentes Luiz Inácio Lula da Silva (2003-2010) e Dilma Rousseff (2011-2016), quando os impactos ocasionados pelas estiagens foram sendo amenizados ao longo das décadas; entre as iniciativas adotadas, podemos destacar: o Projeto de Transposição do Rio São Francisco, o Programa de 1 milhão de Cisternas Rurais, o Programa Água Doce (PAD), a água para todos, o Programa uma Terra e Duas Águas (P1+2), além de tecnologias sociais e barragens subterrâneas que influenciaram, positivamente, no contexto socioeconômico da região, tendo em vista que tanto as mudanças climáticas quanto o contexto social implicaram na efetivação desses programas.

Vale ressaltar que a implementação de políticas públicas voltadas à preservação das águas estende-se além da problemática hídrica, devendo abordar ações interventivas de resiliências climáticas no semiárido nordestino, sobretudo em períodos de estiagens prolongadas. Devido às ações climáticas, é essencial a adoção de ações emergenciais de mitigação que, por mais que sejam consideradas “arcaicas”, como os caminhões pipa ou cisternas de alvenarias nas residências rurais, por exemplo, promovem segurança hídrica em períodos de baixos volumes nas barragens; além disso, a perfuração de poços continua sendo uma medida comumente utilizada, por mais que não haja fiscalização estadual de outorgas (REBOUÇAS, 2004).

Mesmo com todas as críticas proferidas à gestão hídrica, as políticas públicas nesse setor têm avançado no território do semiárido nordestino, proporcionando mais acesso a esse bem tão precioso. Para Cunha (2018), os desafios da implantação de políticas públicas de

distribuição de água são resultantes de uma governança e gerência hídricas mais transparentes e democráticas, associadas ao cenário regional atual do semiárido nordestino, onde a falta de água não é uniforme para toda população, isto é, não há democratização do acesso de acordo com a situação crítica da população mais vulnerável, sendo indispensável, portanto, a compreensão conjunta das consequências dessas mudanças climáticas e dos conflitos regionais e sociais para essa classe menos favorecida.

Nesse sentido, diante dos desafios ao cumprimento dos princípios democráticos da gestão das águas no Brasil, previstos na Política Nacional de Águas, faz-se necessária a implementação do Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011, instituindo o Programa Água para Todos, o qual prevê o acesso à água para as pessoas de baixa renda no semiárido nordestino. Assim, considerando a cronologia do processo histórico de institucionalização dessas políticas, associado ao tempo de decisão que envolve, vislumbra-se um resultado a longo prazo, condizente com a realidade social da população, visando garantir, efetivamente, o direito do acesso à água a toda população das regiões do semiárido paraibano (BURITI e BARBOSA, 2019).

Entretanto, é importante destacar que a administração da água é uma categoria complexa, que inclui vários atores na formulação do seu planejamento, devendo-se considerar a demanda populacional e os fatores climáticos dentro do território e do período de execução. No caso do semiárido nordestino, atestamos que é essencial ir além da adoção de políticas gerenciais, é preciso uma legislação mais ampla e transparente que envolva a sociedade civil e o setor privado mercadológico, assim como a efetivação do papel das instituições de planejamento hídrico, fatores que, interligados à composição das entidades e suas funções, viabilizam o acesso da população à água (JACOBI et al, 2015).

Quando trazemos essa dinâmica para análise na conjuntura paraibana, percebemos uma preocupação governamental com a segurança hídrica em meados dos anos de 1990, período em que o estado implementou sua própria legislação, tomando por base as premissas nacionais dessas políticas públicas, usando como justificativa a busca pela redução dos efeitos das secas nos anos de 1990 e 2010, sempre acentuando os efeitos nos cenários de pouca disponibilidade de água nas mesorregiões da Borborema e Sertão paraibano.

Nesta realidade, percebemos que, no semiárido paraibano, as iniciativas voltadas à problemática hídrica atravessam contextos de divergências e conflitos de acordo com suas características naturais, requerendo intervenções no sistema de abastecimento urbano e nas bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Piancó e Piranhas, consideradas as maiores no âmbito

estadual que, inclusive, são responsáveis pela maior parte do abastecimento do estado, superando 50% da população local (FRANCISCO e SANTOS, 2017).

Conforme pontuam Neto e Vianna (2018), essas bacias tornaram-se essenciais para a sustentabilidade, a segurança hídrica e o desenvolvimento da Paraíba, integrando sistemas de abastecimento e distribuição de regiões metropolitanas importantes como Cajazeiras, Patos, Sousa e Campina Grande, por meio de redes de adutoras, Estações Elevatórias e de Tratamento (ETA), sistemas de canalização, captação e reserva, além de importantes vias de abastecimento que atendem às localidades onde a disponibilidade de água é reduzida, como a região semiárida.

Na Paraíba, todas as políticas públicas e projetos de infraestrutura envolvendo o patrimônio hídrico são de responsabilidade da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs), enquanto as obras são regidas pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), a qual administra o abastecimento de água na grande maioria dos 223 municípios do estado, atuando ainda nos serviços de captação, adução e tratamento da água (PARAÍBA, 2023).

Além desses órgãos que planejam e executam as políticas hídricas no estado, vale destacar que o planejamento para realização delas acontece em rios interestaduais, cuja competência é da União, a exemplo do Rio Piranhas - Açu, o qual, assim como o Rio Paraíba (eixo leste), foi contemplado pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), do eixo norte, abastecendo a Paraíba e parte do Rio Grande do Norte.

Ainda na área de iniciativas para a melhoria da qualidade e distribuição de água, o estado da Paraíba tem projetos e programas de formação e mobilização social para convivência com o semiárido, articulado com o combate à seca, implantados nos anos 2000, contando com a parceira do governo federal, entre os quais, podemos citar: Águas Para Todos, 1 Milhão de Cisternas (P1MC), 1 Terra e 2 Águas (P1+2) e Cisternas nas Escolas.

As políticas de enfrentamento à seca na região semiárida da bacia do Rio Paraíba atingiram seus objetivos em grande escala no território, tendo em vista que as intervenções feitas por intermédio de obras de promoção do acesso e distribuição da água tiveram o apoio essencial das Tecnologias Sociais Hídricas (TSH), muito utilizadas nos períodos de crises que levaram a Paraíba ao estado de emergência entre os anos de 2012 e 2018, provocada pela pior estiagem do estado nos últimos cem anos (ARAÚJO apud NETO e VIANNA, 2018).

Na conjuntura dos anos de 1990, muitos estados nordestinos estavam passando por reformas no âmbito da gerência de recursos hídricos e, na Paraíba, o processo não era diferente; à época, a situação cultural e econômica do país era limitada aos modelos de gestão adotados

até então, o que só foi flexibilizado com a adoção da Lei estadual de nº 6.308, de 2 julho de 1996, integrante do marco regulatório da Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), cujo propósito é mudar a administração estadual centralizada dos recursos, proporcionando a melhoria do consumo e uma segurança hídrica no estado.

Assim, houve um aumento da demanda por água potável no semiárido paraibano, além da otimização dos sistemas de abastecimento e esgotamento no ramal do Sertão e Curimataú, os quais estavam voltados para ações de combate às estiagens prolongadas em períodos de eventos climáticos intensos, ocasionados pelo *el niño*.

Na Paraíba, embora as políticas estaduais de recursos hídricos tenham sido editadas de acordo com os parâmetros legais da Lei federal 9.433/1997, tais alterações, bem como as revogações de textos legislativos que trouxeram outras substâncias e dispositivos legais de regulamentação da gestão hídrica paraibana, só foram introduzidas após a Lei estadual 6.308 de 1996, que institucionaliza a Política Estadual de Recursos Hídricos (VIEIRA e RIBEIRO, 2007).

Antes da sanção da Lei Estadual de Recursos Hídricos (1997), a Paraíba detinha uma política hídrica pautada na centralização do poder de decisão nas mãos de pessoas, tecnicamente, sem capacitação, o critério utilizado era o apadrinhamento político partidário; essas iniciativas eram subordinadas à Secretaria Estadual Ambiental, respaldadas na Lei de nº 4.033 e gerenciadas pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos da Paraíba (SUDEMA-PB), a qual teve sua estrutura organizacional regulamentada por meio do decreto estadual nº 12.360, de 1988, o qual também regia as competências da Coordenadoria de Educação Ambiental (CEDA). Além disso, cabe destacar que a determinação da estrutura Organizacional Básica do Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos, determinada pela Lei de nº 6.308, em 1996, foi de extrema relevância neste processo.

A Política Estadual de Recursos Hídricos impulsionou o governo da Paraíba a implementar uma série de decretos com o propósito de institucionalizar uma divisão administrativa no gerenciamento executivo de gestão das águas, entre os quais: o nº 19.260, regulamentando a outorga do direito de uso dos recursos hídricos; o nº 6.544, que criou a Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais, cuja nova redação revoga dispositivos da Lei nº 6.308; o nº 19.192, criador do grupo gestor do Programa de Desenvolvimento de Recursos Hídricos para o Semiárido Brasileiro – PROÁGUA; o nº 18.824 que aprovou o Regimento Interno do Conselho Estadual dos Recursos Hídricos

(CERH); e o nº 18.823 que regulamenta o Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FERH (AESAs, 2023).

As iniciativas voltadas à proteção deste recurso tão valioso não pararam, em 2001, através da lei nº 7.033, o estado criou a Agência de Águas, Irrigação e Saneamento (AAGISA) e em 7 julho de 2005, com o decreto de lei nº 7.779, foi criada a Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs), atualmente responsável pelo planejamento das políticas públicas de gerenciamento das águas e suas providências (AESAs, 2023).

No ano de 2006 foi publicado o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) que tem o objetivo de fundamentar e orientar a implementação das políticas nacional e estadual de recursos hídricos, cujos planejamentos foram elaborados de acordo com o cenário sustentável de gestão integrada no estado da Paraíba que, naquele momento, apresentava disponibilidade de recursos hídricos de qualidade, além de tendências socioeconômicas, aspectos ambientais e técnicos, aplicados no Estado a longo prazo, com planejamento de 20 anos (PARAÍBA, 2006).

Com o passar das décadas e obtenção de resultados do Plano, foi possível evidenciar um cenário de fragilidade das instituições e precariedade da infraestrutura, o que resultou em uma deficiência no atendimento da demanda hídrica do estado. Deste modo, conforme explica Bezerra (2019), o plano falhou quando não considerou as adaptações às variabilidades climáticas e suas consequências, as quais surgiram, fortemente, entre 2012 e 2018, na última grande estiagem que assolou o estado.

Diante das atualizações legislativas, executadas a nível estadual e federal, no campo das políticas públicas de gestão das águas, dá-se vazão ao questionamento de como os agentes públicos podem atuar no planejamento e prática de ações que visassem melhorias mediante os próximos eventos climáticos.

Os projetos desenvolvidos trazem uma nova intencionalidade, bem nítida, quanto aos incentivos de regionalização e suas instâncias de governança hídrica já existentes e as que, porventura, seriam criadas no futuro; sendo que o objetivo é a divisão de cada estado brasileiro em regiões hídricas, para que a prestação seja organizada, planejada e executada em uma escala geográfica maior, abordagem que tem o intuito de ampliar as escalas e garantir a universalização e a viabilidade técnica, econômica e financeira dos serviços de abastecimentos de água a médio e longo prazos, baseados na uniformidade, regulação e fiscalização do planejamento (SILVA, 2023).

Além dos fatores observados anteriormente, nos últimos 30 anos foram ampliadas as questões relativas à priorização estrutural da segurança hídrica e de prestação regionalizada dos

sistemas de distribuição água e saneamento básico nas regiões suscetíveis a estiagens prolongadas.

Entretanto, fatores como a falta de integração dos gestores públicos e pesquisadores, principalmente dos municípios menores, levantam alguns questionamentos, tais como: a formação de blocos do ponto de vista técnico e financeiro, a falta de atratividade e de retornos para empresas prestadoras do serviço, o compromisso das empresas privadas com um serviço de qualidade e não somente com o lucro, a viabilidade do serviço de saneamento para os municípios pequenos e de baixa renda, tendo em vista o pagamento de taxas/tarifas condizentes com suas respectivas realidades, entre outros fatores (FILHO, 2022).

Outra demanda hídrica que exige do poder público providências é a gestão e operação dos sistemas de abastecimento de água no sentido de que sejam expandidos em territórios estadual e nacional, considerando que nas áreas urbanas e metropolitanas há uma necessidade especialmente maior (HERRERA et al., 2010). Além disso, de acordo com Lins (2011) os números dos últimos censos demográficos estimam que é viável ao poder público fornecer, de forma regular e contínua, água potável essencial à população de regiões que sofrem as consequências da escassez de água, como é o caso de região semiárida. Sendo assim, é indispensável que se promova a avaliação e execução de medidas estratégicas e decisivas que visem a gestão eficiente de modo a garantir a resolução destes problemas.

Percebemos, então, que o cenário de planejamento hídrico no estado da Paraíba é refletido nos dados quantitativos provenientes da região semiárida e no volume de água consumido, os quais são localizados, respectivamente citados no Map. Biomas e no Sistema Nacional de Informações sobre saneamento (SNIS) (ANA, 2016).

Tais informações de predição são fundamentais para o planejamento hídrico a longo prazo da gestão hídrica estadual, servindo como respaldo para a tomada de decisões e para a mitigação de problemas climáticos recorrentes nessa região em questão. Cabe destacar que, conforme explicita Silva (2023), os prognósticos de volume de água consumida estão 1000.m³/ano (um mil metro cúbico por ano) da área urbanizada em hectare (ha), no semiárido paraibano.

Portanto, fica claro que as pautas dos técnicos e planejadores dos recursos hídricos nacionais e, especificamente, do estado da Paraíba, partem de um pressuposto com bases estruturais de gerenciamento burocrático desses recursos, sobre os quais a legislação tende, implicitamente, a dificultar a garantia da descentralização sobre o gerenciamento, configurando-se, atualmente, como o mais concentrado, por ser gerido por órgãos diretamente ligados ao governo. No entanto, há a perspectiva de que, à medida em que as pautas sobre a

água sejam atualizadas, as legislações a respeito sigam esta tendência de modernização, ainda mais levando em consideração que as políticas hídricas paraibanas já exibiram avanços significativos neste quesito, afinal, como reflete Andrade (2017), é preciso uma atualização estrutural que envolva, de modo responsável, democrático e participativo, o gerenciamento operacional dos recursos hídricos da Paraíba.

Diante disso, vale ressaltar que as políticas públicas de recursos hídricos, diante de seus recortes geográficos, têm como parâmetros a gestão hídrica dos mananciais e bacias hidrográficas de forma eficiente e eficaz, equilibrando a utilização dos recursos hídricos de forma estratégica e sustentável, assegurando a água em quantidade e qualidade para as gerações atuais e futuras, evitando a repetição de um passado sombrio de fortes secas, como ocorrido durante séculos na região semiárida da Paraíba.

3.3 HISTORIOGRAFIA DAS BARRAGENS DA PARAÍBA: EPITÁCIO PESSOA, COREMAS MÃE D'ÁGUA, ENGENHEIRO ÁVIDOS

Os contextos historiográficos hídricos do estado da Paraíba remetem-se a um passado de secas e estiagens severas; trata-se da região das capitânicas hereditárias, datadas do século XVI, quando a região Nordeste já possuía relatos de escassez hídrica. Precisamente entre os anos de 1580 e 1583, quando a região semiárida nordestina era chamada de “sertaneja” (região está que, atualmente, conhecemos como os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia - no futuro denominadas como polígonos da secas), já se notavam as consequências das estiagens nas produções dos engenhos de cana de açúcar, o que acarretou a morte de cerca de cinco mil indígenas, além dos primeiros quadros de migração, epidemias, fome, sede e miséria (ALBUQUERQUE, 1988).

A incidência da seca na Região Nordeste não é originária apenas do aspecto natural, mas também se configura como um problema de ordem social e econômica, pois as crises hídricas sempre foram um acontecimento com viés político, servindo para promoção das oligarquias no semiárido nordestino. As secas de origem natural são de fácil compreensão climatológica, porém, as motivações políticas, culturais e sociais a que foram submetidas ao longo da história transformam-na num problema social. Segundo o historiador Marco Villa (2001), o saldo dessas sucessivas estiagens prolongadas é, aproximadamente, três milhões de vítimas fatais nos séculos XIX e XX.

Quando tratamos do aspecto natural das estiagens nordestinas, compreendemos que elas se tornam mais constantes devido aos fatores naturais e antrópicos, ao povoamento

demográfico e aos desmatamentos da fauna e da flora, cujo agravamento aconteceu entre os séculos XIX e XXI, precisamente durante a estiagens de 1825, 1877, 1915, 1932, 1984, 1998 e 2012 (ARAÚJO SEGUNDO NETO e VIANNA, 2018).

Em 1825 e 1877, no reinado de Dom Pedro II, a região Nordeste passou por um dos mais delicados períodos de secas, que dizimou entre 13,9% e 14,4% da população do Ceará, o que já foi pensado para a implementação da transposição do Rio São Francisco, concluída no ano de 2017, a qual, por meio do eixo leste, passa a desaguar no segundo maior manancial da Paraíba: o Açude Epitácio Pessoa e, posteriormente, pelo eixo oeste, na região do alto sertão, que abastecerá uma das maiores barragens do estado: o Complexo Coremas Mãe d'água e o Engenheiro Ávidos.

A situação hídrica do Estado da Paraíba caracteriza-se por uma escassez em obras estruturantes que viabilizem o armazenamento de água e, assim, o enfrentamento da seca. As estiagens de 1915 e 1932 deixaram o semiárido paraibano com fortes sequelas, entre elas, sérios transtornos sociais e econômicos, mortes de milhares de flagelados, perda de cerca de 1,5 milhões de hectares de lavouras, resultando numa forte migração de paraibanos para os grandes centros urbanos como: Campina Grande, João Pessoa, São Paulo e Rio de Janeiro.

Em 1909, no intuito de combater as severas estiagens, o governo federal criou a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), a qual, dez anos depois (1919), passou a se chamar Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca, com sede em Fortaleza; em 1945, o órgão foi, definitivamente, instituído como Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), responsabilizando-se pela construção de açudes de médio porte e macro barragens em estados do Nordeste, dentre os quais, o da Paraíba se destacou pela construção das barragens dos complexos Coremas mãe d'água, Epitácio Pessoa e Engenheiro Ávidos, entre os anos de 1930 a 1957, tornando-se um dos maiores aportes hídricos do estado, responsável pelo abastecimento de mais de 1,5 milhão de pessoas, em mais de 136 municípios paraibanos (GUERRA, 1981).

O Açude Estevam Marinho, mais conhecido como complexo hídrico Coremas Mãe d'Água, está localizado no alto sertão da Paraíba, entre os municípios de Coremas e Piancó, regiões banhadas pelos rios Piancó e Piranhas Açu, possuindo capacidade de armazenamento de cerca de 1.358.162,193 bilhões de metros cúbicos de água, sendo considerado pelo DNOCS e pela AESA o maior açude, em escala macro, do estado e o quinto maior do Brasil.

A proposta de construção do açude de Coremas e Mãe d'água advém do início do século XX, logo após a criação do IOCS, por meio de estudo de viabilidade técnica, chefiada pelo engenheiro e geólogo Miguel Arrojado Lisboa e Roderic Crandal; eles destacaram os

potenciais geológicos e mananciais hídricos dos rios Piancó, Piranhas e Aguiar através de programa governamental federal chamado: Políticas de Açudagem; essas políticas, muitas vezes assistencialistas e eleitoreiras, desde os períodos das grandes estiagens (século XIX e início do século XX - presidente Getúlio Vargas) determinaram medidas de construção de grandes barragens para o enfrentamento das estiagens.

Em 1937, utilizando-se do decreto 19.726 de 1931, o presidente Getúlio Vargas ordenou ao DNOCS desapropriar 888 lotes de terras para a inundação e construção da barragem, sob a supervisão técnica do engenheiro civil potiguar Estevam Marinho (1896-1953), o qual foi homenageado tendo seu nome no manancial. A construção da barragem durou cerca de cinco anos, tendo sua conclusão apenas em maio de 1942 e sendo considerada, à época, a maior obra de engenharia na América Latina, responsável pelo abastecimento de 147 municípios, sendo 100 destes no sertão da Paraíba e 47 no estado do Rio Grande Norte - as águas da barragem percorrem a barragem Armando Ribeiro Gonçalves, em Assú – RN (LUCCHESI, 2017).

Em 1942, após uma grave seca, o presidente Getúlio Vargas publica outros dois decretos de lei, o 4.228 e o 4.475, os quais concediam um novo crédito especial de 12.000 mil contos de réis para obras de barragens de Mãe d'Água, que ficava a 4 km de distância do açude de Coremas, pois, a região era assolada por uma seca muito preocupante. Em 1951/1953 a verba emergencial do DNOCS para a construção do açude de Mãe d'água, que o interligaria ao manancial de Coremas, era de Cr\$ 219.244.762,10 de cruzeiros e só fora concluída em 15 de janeiro de 1957, durante o governo do presidente Juscelino Kubitschek (SUDENE, 1981).

Quando tratamos do açude de Coremas, ele foi construído para armazenar 591.646.222 metros cúbicos de água e estruturado no barramento no montante dos leitos do rio Piancó, que contém 15 reservatórios; enquanto a construção do açude de Mãe d'água tinha o objetivo de armazenar cerca de 567.999.136 de metros cúbicos de água, no barramento do leito do Rio Aguiar, com 2 reservatórios, e do rio Emas, com 7. Juntos, Mãe d'água e Coremas formam o complexo Coremas Mãe d'Água, único espelho d'água através do canal vertedouro de 237 metros, com conexão de transportar doze metros cúbicos de água por segundo, na vazão total, totalizando uma acumulação de 1,358 bilhão metros cúbicos em uma área de 8.700,34 km², com altura da parede da barragem medindo 47 metros de altura e a extensão da parede cerca de 1550 metros de concreto armado, considerado um braço de mar em pleno semiárido paraibano, onde a última grande sangria da ocorreu no ano de 2008 (RODRIGUES et al, 2009).

De acordo com Morais e Barbosa (2022), após a mencionada sangria, a barragem do complexo Coremas Mãe D'Água não obteve mais recarga total como antes, ao contrário, os níveis foram decrescendo, chegando a um estado crítico. Os dados de modelagem dos volumes

dos açudes de Coremas e Mãe d'água, somados aos fatores de sazonalidade decorrentes da crise hídrica, ocorrida entre 2012 e 2018, mostram uma série de quedas críticas de medição da água, sendo registrado cerca de 14.364.835 milhões de metros cúbicos de água em janeiro de 2017 e 328.606.009 milhões de metros cúbicos de água em janeiro de 2018, o mais baixo desde da inauguração.

Outro fator relevante sobre a barragem de Coremas Mãe D'Água é que ela é grande geradora de energia, comportando uma usina hidroelétrica construída durante as obras da barragem, entre 1936 e 1957. Segundo a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), tal hidroelétrica é constituída por 2 usinas geradoras 1,760 KW, que totalizam a geração de 3.520 kW de energia, interligada por uma subestação elevadora, 2 transformadores de 2,0 MVA e 2,2 MVA, os quais aumentam a tensão de 2,4 kV para 69 kV, ponto onde é feita a conexão com o sistema de transmissão da CHESF através da Subestação de Coremas (69 kV), que se interliga a SE-Milagres (69/230 kV), exercendo um importante reforço àquele sistema regional do interior do Estado da Paraíba (LUCCHESI, 2017).

O segundo maior reservatório hídrico do estado da Paraíba é o Açude público Presidente Epitácio Pessoa (homenagem ao único presidente da república nascido no estado da Paraíba), popularmente conhecido como Boqueirão, o qual está situado na bacia hidrográfica do rios Paraíba e Taperoá, mas especificamente na Sub-bacia do Taperoá do médio Paraíba, entre os municípios de Boqueirão, Cabaceiras e Barra de São Miguel (a maior parte é situada em Boqueirão e uma menor parte a 6 Km noroeste de Cabaceiras e ao norte de Barra de São Miguel).

A construção da barragem Epitácio Pessoa já tinha sido idealizada no final do século XIX, pelo escritor paraibano Irineu Joffily, cuja trajetória em Campina Grande- PB já era de defensor das construções de grande açudes e represas, considerando sua vivência nas estiagens do período. Já era descrita nos jornais da época a construção do grande manancial, formado pelo rio Paraíba, situado na serra do Carnoió (atual município de Boqueirão), que beneficiaria os flagelados das secas, porém a concretização só ocorreu mais de cinquenta anos após sua morte, na gestão do então governador e ministro José Américo de Almeida, em 1954. À época (1939), a cidade de Campina Grande passava por uma forte crise de abastecimento de água, ocasionada tanto pelo aumento demográfico, em plena industrialização algodoeira, quanto pelo colapso hídrico do antigo manancial que a abastecia, inclusive, a barragem de Vaca Brava, município de Areia (JOFFILY, 1977).

Segundo Souza (2013), a viabilidade técnica da construção do futuro Açude de Boqueirão só foi concedida a partir de estudo técnicos do IOCS que, no início de século XX,

percebeu as vantagens dos requisitos para construção de uma grande represa: rio de correnteza perene, suficiente para abastecer o reservatório, boas condições para construção da represa, áreas adequadas à irrigação e um clima tropical quente e seco e com média de pluviosidade de 600 mm anuais. No ano de 1948 foram feitos os primeiros levantamentos topográficos e em 1951, sob a supervisão técnica do engenheiro civil José Pires do Rio, iniciaram-se as obras, as quais foram concluídas em novembro de 1956 e, finalmente em janeiro de 1957 o açude foi inaugurado com a presença do presidente Juscelino Kubitschek.

A ordem de construção da barragem Epitácio Pessoa foi conferida pelo decreto presidencial publicado no Diário Oficial da União número 35.594 de 1954, assinado pelo presidente Getúlio Vargas e pelo ministro de aviação e obras José Américo, o qual ordenou ao DNOCS a desapropriação da vila de moradores Cornoió, cerca de três milhões de metros quadrados de terra, para inundação do futuro açude público de Boqueirão, entre os municípios de Boqueirão e Cabaceiras (BRASIL, 1954).

Quando foi inaugurado, o manancial tinha capacidade de um volume de 535.680.000 m³ de água, cobrindo uma área de 2.680 hectares de terras, totalizando uma área de 12.410 km² de área do espelho d'água. Desde a construção, o açude Epitácio Pessoa já teve 18 sangrias (entre os anos de 1967 e 2011) e a última cheia total do açude ocorreu entre 11 de março até 24 de setembro de 2011 durante seis meses e 18 dias. Contudo, as secas também impactaram os níveis hídricos do referido manancial, o qual ficou dezesseis anos sem sangria (entre 1989 e 2005), o que se deveu tanto aos processos de estiagem como também à degradação ambiental, provocada pelos assoreamentos do solo, despejo inadequado de esgotos, lixo e desmatamentos das matas ciliares ao longo do rio Paraíba, afetando, consideravelmente, o armazenamento de água e provocando a redução de mais de 60% da capacidade, chegando em 2018 à máxima de 411.686.287 m³ de água (CALADO, 2020).

Atualmente, o manancial abastece cerca de 19 municípios paraibanos, com uma população estimada de 1,8 milhões de habitantes, correspondendo a 55% do consumo da população do estado, entre elas a cidade da região metropolitana de Campina Grande, que requer grande demanda de água nos setores industrial, residencial e de irrigação (PARAIBA, 2023).

O colapso no abastecimento de água do açude Epitácio Pessoa no final dos anos 1990, foi o primeiro desde a inauguração, segundo Monteiro (2018), a utilização das águas do açude para irrigação em grande escala, para plantação de culturas agrícolas e para atividades pesqueira, associada à falta de regularização da vazão do rio Paraíba e a outros fatores, culminaram nesses problemas relativos à captação de água para o consumo humano, além

disso, vale salientar a ineficácia dos gestores no período de secas de 1998/1999 e 2012/2018, quando a estiagem resultou em baixos níveis pluviométricos, afetando os níveis dos rios Paraíba e Taperoá, prejudicando a recarga da barragem e chegando aos patamares de 14,9% em 28 de dezembro de 1999 e de 3,18% em março de 2017, período em que foram registrados os baixos níveis de armazenamento do manancial, trazendo a necessidade de uso da água do volume morto do açude.

Diante da situação, as autoridades hídricas do estado (AESA, DNOCS e ANA), iniciaram a execução da política de racionamento de água, que fragmentava, nos dias da semana, a distribuição de água em Campina Grande, região e cidades circunvizinhas; esse período teve início em dezembro de 2014, terminando apenas em agosto de 2017, após a chegada das águas do projeto de transposição do Rio São Francisco, finalizado em abril do mesmo ano (MORAIS e BARBOSA, 2022).

O terceiro maior manancial em termos de armazenamento e abastecimento populacional do estado da Paraíba é o Açude Público Engenheiro Ávidos, também conhecido como Açude de Boqueirão. O nome oficial é uma homenagem ao engenheiro civil do DNOCS, Moacir Ávidos, o qual trabalhou no projeto de execução da barragem, no entanto, faleceu em 1932, antes da conclusão da obra. Esse manancial hídrico está localizado no distrito homônimo do município de Cajazeiras - bacia hidrográfica que nasce na serra de Bongá (Bonito de Santa Fé, na região do alto Piranhas) e deságua no curso do Rio Piranhas; tal infraestrutura hídrica é responsável pelo abastecimento das cidades de Cajazeiras e região, tendo capacidade de armazenamento de 293.617.376 milhões de metros cúbicos de água para os mais de 61.400 habitantes. Essa barragem é interligada aos açudes do distrito de São Gonçalo, em Sousa, cerca de 37,9 Km de distância.

A Barragem de Engenheiro Ávidos foi idealizada devido aos efeitos das fortes estiagens do final do século XIX e início do século XX, buscando enfrentar os impactos socioeconômicos gerados no semiárido paraibano - região do alto sertão. Diante disso, no ano de 1910, o governo federal criou órgãos que gerenciavam obras contra as secas, implementando políticas de açudagem e uma série de projetos de construção de açudes e barragens.

Vale ressaltar que antes da decisão de construção manancial, o local sediava um vilarejo de moradores, às margens do Rio Piranhas, e a execução da obra somente ocorreu após a desapropriação e transferência da vila Boqueirão de Piranhas, onde a prática econômica, predominantemente, era a pecuária desde meados do século XIX, o que só foi modificado quando o governo estadual, através do decreto de lei de nº 424 de 28 de outubro de 1915, elevou

o vilarejo à condição de distrito, subordinado ao município de Cajazeiras, que enfrentava forte estiagem de 1915.

A cruel estiagem ocasionou muitas mortes de pessoas e animais por desnutrição e calamidades causadas por doenças infectocontagiosas, resultando na migração de flagelados e fazendo com que governo federal, no intuito de mitigar a situação de seca, contratasse a construtora norte americana Dwight P. Robinson & Co, para executar as obras da futura barragem (ALBUQUERQUE, 1988). Depois de alguns atrasos por parte do governo federal (gestão do presidente da república Arthur Bernardes), a construção do futuro açude público “Boqueirão de Piranhas” (mais tarde nomeado de Engenheiro Ávidos) só teve início em 1 de julho de 1921, seis anos depois, quando a construtora americana contratada passa a ser coordenada pela Inspeção Federal de Obras Contra a Seca.

Mais uma vez negligenciada pela União, a obra da barragem foi abandonada em 1925, sob argumentação de que os efeitos da seca haviam diminuído e que a construção já não era mais necessária, quadro que só foi revertido em 1931, durante mais um forte período de estiagem, quando o então presidente da república Getúlio Vargas e o ministro paraibano José Américo de Almeida assinaram a ordem de continuidade das obras, em 20 de junho de 1931, sob a supervisão dos engenheiros civis americanos e brasileiros: Luís Vieira, Vinicius Barreto e Moacyr Monteiro Ávidos.

Durante a construção da barragem as condições de trabalhos eram precárias e insalubres: a distância entre os almoxarifados e as pedreiras, onde estavam concentrados os trabalhadores da obra, era muito grande, muitos operários, e até mesmo os engenheiros responsáveis, foram acometidos por várias doenças e epidemias (febre disentérica, varíola, sarampo...), havia contaminação da água, má alimentação, falta de higiene, picadas de insetos e falta de atendimento médico; além das exaustivas jornadas dos operários expostos a forte radiação solar; tais fatores ocasionaram uma média de oito a nove óbitos por dia, entre eles, um dos supervisores responsáveis pela obra, o engenheiro Moacyr Monteiro Ávidos, falecido em Fortaleza, no dia 15 de dezembro de 1932, aos trinta e três anos, vítima de febre tifo disentérica durante as obras de construção da barragem, posteriormente sendo aludido em sua homenagem póstuma o nome oficial barragem Engenheiro Ávidos (OLIVEIRA, 2017).

As obras da barragem Engenheiro Ávidos foram totalmente finalizadas em 18 de setembro de 1936 e a inauguração oficial ocorreu em 19 de novembro do mesmo ano, após quatro anos de obras ininterruptas. Atualmente a barragem tem capacidade de armazenamento de 293.617.376,00 m³ de água, que suprem o consumo humano e animal, como também a irrigação, piscicultura e atividades comerciais locais. A finalização do açude foi sequenciada

de obras urbanísticas no recente distrito de Engenheiro Ávidos, no município sede de Cajazeiras (criado por meio do decreto 1.010 de 1938), e o abastecimento gerado pelo manancial supre as demandas de 61.400 habitantes de Cajazeiras e região, proporcionando segurança hídrica que, durante décadas, culminou no desenvolvimento da região do alto curso do Rio Piranhas.

Outro fator histórico relevante, porém, pouco divulgado, é que após a construção da barragem de Engenheiro Ávidos (1930) e a reforma na infraestrutura (meados de 1970) foram realizados desapropriações e contratos de arrendamento dos moradores ribeirinhos e agricultores com a União (representada, em parte, pelo antigo IFOCS - posteriormente denominado DNOCS). Segundo Oliveira (2017), por meio do decreto de lei de nº 4.229, de 1º de junho de 1963, o governo federal considerava-se, junto a tais órgãos, proprietário do açude citado, aproveitando-se da condição de pobreza e analfabetismo dos antigos moradores em torno da barragem.

Os contratos de arrendamento além de possuírem inúmeras cláusulas, atribuíam aos moradores a responsabilidade de não praticar nenhuma atividade econômica que explorasse os recursos, isto é, estavam proibidas a agricultura, a pesca, o corte de árvores, a pecuária e/ou qualquer atividade econômica próxima do Açude Engenheiro Ávidos e o descumprimento destas regras, implicariam em multas de 5% a 15% (caso rescindisse, o valor seria dobrado - 15% a 30% do valor da multa referencial da época), perda do direito às terras e despejo por parte órgão federal de administração, em especial, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA); o “acordo” tinha vigência por prorrogáveis três anos, sendo “amarrados” por imposição burocrática e, além disso, todas essas ações não davam direito à indenização ao arrendatário, mesmo se os agricultores tivessem perdas agropecuárias quando os níveis do manancial caíssem.

Segundo Bezerra et al (2009), a barragem de Engenheiro Ávidos tem capacidade de armazenando máximo de 255.000 m³ e o volume morto de 17.870 m³, possuindo 45 metros de altura, com 359,4 metros de extensão da parede de contenção, abrangida em uma área de 2.800 hectares de bacia hidrográfica, compreendida de 1.112 km², tendo 160m de largura no vertedouro e uma vazão máxima de 1610 m³/s). Vale lembrar que esse açude não é apenas manancial, além de ser abastecido pelas águas da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, a barragem recebe contribuições de outros subafluentes de açudes, o que corrobora para a sua recarga, como é o caso dos açudes de Lagoa do Arroz, o qual também abastece as zonas urbanas e rurais e as cidades de Cajazeiras e Nazarezinho.

A barragem de Engenheiro Ávidos teve sua primeira sangria em 1963, vinte e sete anos depois da sua inauguração, o que foi relatado em jornais da época como fato histórico da maior barragem do Rio Piranhas, despertando a atenção de milhares de pessoas, ainda mais considerando que o volume da barragem estava baixo; quando a tarde chegou o vertedouro da barragem, com a lâmina de quarenta e quatro, estava com capacidade máxima, gerando uma forte correnteza.

No ano de 1970, a estrutura das paredes do manancial já era uma forte preocupação, por se tratar de uma construção da década de 30, sendo assim, entre 1975 e 1977, o governo federal, por meio do DNOCS, promoveu obras de reparação na infraestrutura do manancial, pois, como afirmara Mello (2011), tratava-se de uma barragem que, alguns anos após sua primeira sangria, já apresentou problemas quanto à estrutura rochosa da parede, tendo sofrido recalque e fissuras da laje do vertedouro. O descolamento das águas após a cheia de 1963 provocou uma sobre-elevação de 0.30m sobre a lâmina do vertedouro, depois de apontamentos dos riscos estruturais, sinalizados por relatório técnico do DNOCS e do engenheiro Rice, da US Bureau of Reclamation, foi autorizada a construção de um novo vertedouro na ombreira direita.

As obras de reforma da barragem ocorreram durante a gestão do governo militar, o qual promoveu a realização de estudos técnicos que investigaram a hidrografia do projeto original, assim como acontece em grandes projetos de construção, verificando que os quatro vertedouros da mencionada barragem, com aterro, sofreu dilatação após 30 anos, o que levou a um grau de compactação inadequada sobre a descarga da correnteza, o correto seria o dobro da descarga e, originalmente, a Engenheiro Ávidos tinha uma descarga 30 vezes superior a descarga da sangria de 1963. Como resultado do estudo, para a redução do impacto, deveria haver a troca do vertedouro lateral que previa a barragem de segmento 9mx10m, onde ocorriam as descargas hídricas verticais, sobre a calha de concreto armado, e dissiparia em salto, correspondendo a uma escavação de 300.000 m³ de volume de concreto de 16.000 m³ (MELLO, 2011); assim, foram instaladas duas comportas modernas e um gerador elétrico para a produção de energia elétrica em caso de pane.

Diante disso, mais uma vez, os ribeirinhos próximos à barragem foram prejudicados devido às constantes aberturas das comportas que, indiscutivelmente, inundavam vazantes construídas no leito do rio, chegando, inclusive, a danificar motores-bombas usados na irrigação. O manancial passou a interligar-se ao açude de São Gonçalo, na cidade de Sousa, o qual, graças às águas oriundas da barragem Engenheiro Ávidos, no ano de 2006, chegou a

atingir a capacidade de 220 milhões de metros cúbicos, mesmo diante dos rumores de risco na infraestrutura, provenientes de um buraco comprometendo a estrutura da parede.

Historicamente a barragem de Engenheiro Ávidos não foi contemplada com muitas cheias, segundo dados da AESA, os sucessivos períodos de estiagem, prolongados entre 2013 e 2018, fez com que o manancial enfrentasse quedas de níveis decorrentes de fatores naturais (efeitos das chuvas irregulares e do el niño entre 2012 a 2018). Essa estiagem foi considerada a pior enfrentada desde a sua inauguração, fazendo com que o manancial chegasse a níveis hídricos críticos, alcançando o volume morto, registrando em 31 de dezembro de 2017 a marca de 3,17%, o que provocou uma séria crise de abastecimento, inclusive, com implementação de políticas de mitigação como o racionamento de água, cenário que só seria revertido mediante a tão esperada chegada das águas do Rio São Francisco.

A barragem de Engenheiro Ávidos, incluída no projeto do eixo norte, passa a receber a água da transposição a partir do de janeiro de 2022, quando foi construído um canal de 8 km interligando as águas da transposição à barragem de Engenheiro Ávidos, em Cajazeiras, e ao Açude de Caiçara, em São José Piranhas (inauguração prevista para outubro de 2021) (BRAGA, 2020). Segundo dados da AESA, em abril de 2018 o Açude Engenheiro Ávidos recebeu um aporte hídrico considerável numa única noite, cerca de 20 milhões de metros cúbicos de água (tendo um aporte de 8.963.744,48 m³), um recorde nestes mais de 30 anos, considerando a crise outrora enfrentada, decorrente de processos de evaporação que diminuiu o espelho d'água. A evaporação do referido açude atingiu o ápice mais crítico no final de 2017 e início de 2018, quando ele chegou ao volume morto de 3,17%; considerando que o abastecimento de água em Cajazeiras demanda um milhão de metros cúbicos (já incluindo a evaporação), tem-se, para a época, uma garantia de abastecimento de, aproximadamente, 53 meses (4 anos) para a região do município.

De acordo com Bezerra et al (2016), os processos de diminuição do espelho d'água do Açude Engenheiro Ávidos foram submetidos a um estudo público que se utilizou de imagens de satélite para ratificar a ideia. As escalas do espelho d'água diminuíram, consideravelmente, entre 2006 e 2016, e a variação do volume do açude foi de 1934,25 hectares no ano de 2009 para 601,68 ha em 2016, mostrando uma redução de cerca de 68,9% no intervalo de 7 anos, motivo de uma redução drástica de cerca de 1.332,57 ha na sua área total.

Somente a partir de março de 2018, quando a barragem estava com apenas 5.85% da sua capacidade, houve uma considerável recuperação hídrica (25,52%) em virtude do alto índice pluviométrico (acima de 100 mm) e, em 31 de maio de 2020, atingindo 53,60 % do volume da barragem. Recentemente, em abril de 2023, o manancial encontra-se com cerca de

34,5% da capacidade (AESAs, 2023), passando por recuperação e modernização da parede de contenção, por parte do DNOCS, que, segundo o Ministério da Integração Nacional, está orçado em cerca de 17,6 milhões de reais, mesmo estas obras fazendo parte do projeto do eixo leste e norte da transposição do Rio São Francisco.

O estado da Paraíba possui cerca de 127 mananciais monitorados pela AESA e 42 sob a gestão do DNOCS, todos distribuídos em 11 bacias hidrográficas, onde as 3 maiores barragens do estado estão sob a gestão estadual e federal de recursos hídricos que são os açudes Epitácio Pessoa, Coremas, Mãe d'água, Engenheiro Ávidos que, juntos, abastecem cerca de 1 milhão de habitantes na região intermediária da Borborema, Agreste e Alto Sertão paraibanos, regiões essas inseridas no semiárido.

Diante dos percalços históricos que assolam a historiografia das barragens Epitácio Pessoa, Coremas Mãe D'água e Engenheiro Ávidos, fica evidente como os cenários das mudanças climáticas potencializaram as implicações sócio climáticas na região, marcada por histórico de estiagens prolongadas que sempre resultou em crises hídricas próximos a esses grandes mananciais do estado da Paraíba.

3.4 CRISE HÍDRICA E ESTIAGEM NAS GRANDES BARRAGENS DA PARAÍBA NOS ÚLTIMOS 29 ANOS (1994 a 2023)

Os fatores climáticos influenciam direta e indiretamente nas crises hídricas seguidas de estiagens prolongadas no semiárido da Paraíba, o que depende de um conjunto de aspectos físico-climáticos do território estadual que, por sua vez, define seu relevo, geologia, tipificação de solos, rochas, vegetação, clima e hidrografia oficiais, facilitando os estudos do cenário hidro climático que interfere nas barragens paraibanas.

Segundo dados do IBGE (2022), o estado da Paraíba está inserido em uma área que representa cerca de 56.439,838 km², sendo que dois terços deste território está inserido na região semiárida, a qual é composta por quatro mesorregiões (Zona da Mata, Agreste, Borborema e Sertão), onde se localizam 223 municípios e 278 distritos municipais, com uma população de 3,974 milhões de habitantes (censo do IBGE de 2022), o que, em 1991 correspondia a 3,2 milhões, isto é, um aumento estimado de 774 mil habitantes (24,2 %) no intervalo de 31 anos.

Neste cenário, o IBGE estima que, nos próximos 20 anos (2040), a população do estado da Paraíba atinja o auge demográfico em 4,267 milhões de habitantes e, em 2052, chegue a 4,190 milhões, um aumento de 5,5% projetado para os próximos 30 anos; esse crescimento

pode ter ocasionar uma ampliação da demanda hídrica, podendo causar impactos na agricultura, irrigação, indústria, pecuária de subsistência, atividades socioeconômicas essenciais ao estado, que podem ser agravados pela incidência de fenômenos climáticos provocados pelo el niño nos próximos anos, caso não haja um planejamento hídrico a médio e longo prazo.

Outros fatores que incidem nas crises hídricas no território paraibano são os aspectos geomorfológicos do relevo e solo do estado, constituído por rochas cristalinas magmáticas e metamórficas, predominantemente nas mesorregiões do Sertão, Agreste e Borborema, (no Litoral prevalecem as rochas sedimentares). O solo da Paraíba foi, ao longo da formação e evolução geológica, submetido ao intenso tectonismo, responsável pela amplitude variada, pelo fraturamento e falhamento, com vigorosos processos erosivos os quais resultaram em formas estruturais representadas por cristas, serras e relevos residuais (FRANCISCO e SANTOS, 2016).

Assim, o estado conta com cinco unidades morfológicas de relevos: Baixada Litorânea – terrenos planos constituídos por sedimentos recentes sobre as cotas mais baixas da orla marítima e adjacência, com altitudes entre 0 e 40 m; Baixos Platôs Costeiros (Tabuleiros) - superfícies planas ou suavemente onduladas na faixa costeira do estado, com altitudes variando entre 40 a 100 m; Depressão Sub-litorânea - localizada entre os tabuleiros e rebordos do Planalto da Borborema, caracterizada por áreas baixas com superfícies colinosas de relevo suave ondulado com altitude de até 300m; Planalto da Borborema – o mais característico e elevado acidente geomorfológico da Paraíba, com altitudes entre 500 e 800 metros, onde se encontra o ponto culminante do Estado: Pico do Jabre, com 1.207m e perfil topográfico situado no paralelo -7 grau sul, que caracteriza uma barreira natural da vertente e impede chuvas e ventos alísios do oceano atlântico de adentrar no semiárido; Depressão Sertaneja - representa a metade oeste do estado, largamente ao norte pelo vale do Rio Piranhas, cobre toda a superfície de pediplanação com pequenos inselbergues e a bacia sedimentar cretácea, com altitudes média entre 200 e 250 m, podendo chegar a 700 m nas serras típicas de formação cristalino rochoso (PARAÍBA, 2022).

Quando falamos de territorialidade, a Paraíba tem cerca de 89% de seu assentado sobre rochas Pré-cambrianas, enquanto o restante divide-se entre bacias sedimentares fanerozóicas, rochas vulcânicas cretáceas, com coberturas plataformais paleógenas\neógenas e formações superficiais quaternárias. Desta forma, tal geologia resume-se a Holoceno-restingas e dunas, aluviões e mangues; Terciário - Grupo Barreiras e Serra dos Martins; Cretáceo - formação Itamaracá e Gramame e série Rio do Peixe; Pré Cambriano (B), representado na Paraíba por

micaxistos, filitos e quartzitos com muscovistas e sericita da série Ceará; e Pré-Cambriano (CD), representando por gnaisses e migmatitos (AES A e SEIRHMA, 2006).

Tratando-se do solo paraibano, podemos caracterizá-lo pela diversidade de pedologia existente, pois está relacionado diretamente com o clima local, resultando numa grande variedade de minerais. Vale salientar que 20% da área da Paraíba apresenta solos evoluídos que coincidem com o clima tropical, quente e úmido litorâneo, como algumas serras do Brejo e do corredor Subúmidos da depressão Sub-litorânea, enquanto nas restingas e praias predomina o solo arenoso, nas várzeas e mangues, os aluviais, salinos e encharcados.

Na região do Brejo ocorrem solos litólicos, eutróficos e podzólicos, equivalentes a terra roxa estrutural e em menor prevalência os latossolos vermelhos-amarelos, que ocorrem devido às formações das rochas graníticas e aos restos dos capeamentos sedimentares oriundos da formação; já na região Sub-litorânea o solo tem grande variedade de cristalinas do tipo podzólico, associado ao planossolos e aos solos poucos espessos do tipo não cálcicos; tratando-se da região semiárida, o solo predominante é latossolos, planossolos, podzólicos e regossolos, associados aos solos não cálcicos; nas Serras úmidas, os solos são mais profundos, do tipo regossolos e podzólicos, sempre relacionados aos solos litólicos e não cálcicos (SEIRHMA, 2006).

Em 2006, o Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PERH) definiu, oficialmente, as vegetações do estado da Paraíba como diversas e variadas, onde a formação florestal caracteriza-se por: caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiros costeiros, mangues, mata úmida, mata sem decidual, mata atlântica e restinga, entretanto, a vegetação predominante no estado é o bioma caatinga, correspondendo a cerca de 65% do território da Paraíba.

A classificação climática da Paraíba, dada sua localização dentro da faixa equatorial, é tropical quente e úmido, na faixa litorânea e no brejo de altitudes, e tropical quente e seco na região semiárida, com temperatura média anual de 26 graus, pouca variação interanual e altos índices de evaporação, fazendo com que a distribuição espacial da temperatura mantenha uma dependência acentuada do relevo da evaporação e da precipitação pluviométrica, umidade do ar, pressão atmosférica e insolação.

De acordo com a AESA (2022), a climatologia do estado é “caracterizada sob o regime climático das bacias hidrográficas” que envolvem os seguintes fatores e elementos: precipitação, temperaturas médias, mínimas e máximas, velocidade e direção do vento, incidência solar, evaporação e evapotranspiração potencial que, por sua vez, estão divididas em seis estações normais climatológicas, distribuídas no território das vinte sub-

bacia hidrográficas, nas onze bacias hidrográficas e nas cinco mesorregiões (Litoral, Agreste, Brejo, Cariri e Sertão).

Além dos fatores citados, utiliza-se a classificação dos tipos climáticos segundo a metodologia de Köppen, usada pelo PERH-PB de 2006 e mantido também no PERH de 2022, a qual dividiu as classificações climatológicas do estado em dois grupos (tropical e seco) e em quatro tipos de clima: Am (quente de monção), As (quente com chuva de inverno), Aw (quente com chuva de verão) e BSh (semiárido e quente) (FRANCISCO e SANTOS, 2017).

As crises relacionadas às mudanças climáticas e, conseqüentemente, às secas na Paraíba decorrem do regime de precipitação da região semiárida paraibana, que é caracterizada por chuvas pouco concentradas de 300 a 1000 mm anuais, variando de 3 a 7 meses do ano, quando no semiárido do Nordeste é, talvez, uma das regiões mais vulneráveis às secas em todo o planeta. Embora se destaque entre outras zonas áridas e semiáridas do mundo como a que possui mais população densa, os fatores morfoclimáticos regionais revelam a insegurança hídrica que contribui diretamente para conflitos em prol do acesso à água de uma população de cerca de 30 milhões de habitantes em 2010 (RAMOS, 2020).

De acordo com último levantamento da AESA, publicado em 2022 pelo PERH-PB, o estado da Paraíba possui 127 mananciais sob gerência estadual da AESA e 42 mananciais sob Gestão federal do DNOCS e ANA, divididos em onze bacias hidrográficas: do Rio Abiaí, do Rio Camaratuba, do Rio Curimataú, do Rio Gramame, do Rio Guaju, do Rio Jacu, do Rio Mamanguape, do Rio Miriri, do Rio Paraíba, do Rio Piancó e bacia hidrográfica do Rio Trairi; além de estar subdividido em vinte sub-bacias, nas dez mesorregiões e vinte e quatro microrregiões do estado.

Cerca de dois terços do território paraibano estão inseridos na região semiárida, onde estão localizados os maiores mananciais hídricos do estado (Complexo Coremas mãe d'água, Epitácio Pessoa e o Engenheiro Ávidos), entretanto, trata-se de uma área de evaporação alta, que ocasiona perda de água nos açudes públicos (tomado por parâmetro a base de cálculo da evaporação anual da estação climatológica implantada no entorno ou área de influência das bacias correspondentes). O volume anual de evaporação e perda de água nos 120 açudes, e nas suas respectivas bacias, alcança o número de 1.201.083.865,86m³, quase a capacidade do Coremas/Mãe d'Água, que tem 1.358.700.000,00 m³, ou três vezes o volume do Açude Epitácio Pessoa, o qual comporta 411.686.287,00 m³ de água (PARAÍBA, 2022).

Para explicar o fenômeno das secas e crises prolongadas devido aos fatores climáticos, é indispensável uma vasta leitura do contexto paraibano nos últimos cem anos, além de análise acerca dos fatores das variabilidades climáticas e aspectos naturais morfoclimáticos e

hidrológicos do estado. Conforme sinaliza a Sudene (2017), cerca de dois terços do estado da Paraíba estão inseridos na região semiárida (51.306.0 km² - 90,67%) - seguindo os critérios de delimitação do semiárido aprovados pelas Resoluções de nº 107 (27/07/2017) e de nº 115 (23/11/2017) do Conselho Deliberativo da Sudene; são cerca de 194 dos 223 municípios distribuídos na área (com população estimada em 2.498.117 habitantes no ano de 2017), em que prevalecem um geologia compostas por rochas cristalinas, solos rasos com rochas aflorantes e altas taxas de evaporação (2.000mm/ano) e precipitações que possuem alta variabilidade espacial e temporal, com valores médios anuais entre 400 e 900 mm, concentrados em 4 meses, características essas que tornam a região suscetível a períodos cíclicos de estiagens e secas.

As estiagens prolongadas na Paraíba são eventos naturais que assolam grande parte do território estadual, em especial a grande parcela inserida na região semiárida, destacando-se os municípios com ocorrências de secas prolongadas que foram registradas entre os anos de 1991 e 2018. Ao longo desse período de serie temporal de 27 anos foram decretados 4425 registros oficiais de estiagens e secas, os quais se distribuíram em 212 dos 223 municípios do estado, compreendendo cerca de 95% do território (PARAÍBA, 2022).

Vale salientar que o pior cenário de crises climáticas, ocasionadas pelas secas, enfrentado pelo estado da Paraíba, foi no período compreendido entre 2012 a 2018, quando os maiores reservatórios hídricos, todos localizados na região semiárida, colapsaram, prejudicando o abastecimento não só dos grandes centros urbanos, mas também da zona rural, comprometendo a criação de animais e o corte das irrigações agrícolas nas margens dos rios Paraíba, Piancó e Piranhas. Nesse período, de acordo com a AESA, os níveis hídricos chegaram a patamares críticos e as cotas técnicas dos reservatórios alcançaram índices de 3,24%, 2,43%, 2,57%, 3,18% da sua capacidade, demandando dos gestores estratégias de enfrentamento, como o racionamento em grandes centros urbanos, a exemplo de Campina Grande e Cajazeiras (AESA, 2023).

As estiagens prolongadas na Paraíba sofrem, também se dá as falhas de gestão que são causadas por uma série de conflitos de planejamento político-governamental, ou seja, o despreparo dos gestores públicos, o que não lhes permite entender os direcionamentos propostos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (lei 9.433 de 1997), assim como não tinham ideia dos efeitos dos impactos climáticos sobre os recursos hídricos desde as fortes estiagens dos anos 1980 e 1990 (FERREIRA, 2016).

Diante disso, como a estiagem prolongada não respeita fronteiras, o conceito de governança hídrica passa a ser entendido como um ato normativo do poder executivo, defensor

do trabalho em conjunto entre instituições governamentais, partes interessadas e a sociedade para conduzir os processos e tomar decisões no âmbito das políticas hídricas (SCHULZE et al., 2018).

A condução de uma boa gestão para os recursos hídricos é extremamente importante para auxiliar no desenvolvimento, porém, não é uma tarefa fácil, exige melhorias em todos os níveis de governo, com as necessárias reformas na organização política, melhor definição de prioridades e compreensão dos problemas hídricos locais para, somente assim, alcançar a eficiência hídrica, inclusive, com maior capacidade de resposta a grandes eventos extremos (GRINDLE, 2004).

Partindo desse pressuposto, para conseguirmos definir a proporção de uma seca severa é preciso medir as variáveis dos níveis pluviométricos no intervalo médio de cada região hidrográfica (MEDEIROS, et al, 2011); além disso, outros fatores climáticos também são relevantes, tais como: baixos e irregulares índices de precipitação, altas taxas de evaporação, com índices superiores a 2000 mm por ano, significativa variabilidade interanual das chuvas, que impõe sequências de anos úmidos e secos, assim como estiagens recorrentes e, conseqüentemente, baixa nos níveis das barragens prejudicando a distribuição hídrica local e regional. As secas são fenômenos naturais cíclicos que provocam crises de abastecimento de água para as populações, foi o que ocorreu na Paraíba, entre 2012 a 2018, no reservatório Epitácio Pessoa, responsável pelo abastecimento de 26 municípios, dentre eles o de Campina Grande que, segundo o IBGE (2022), já contava com mais de 400 mil habitantes (SILVA et al, 2014).

Tais fenômenos climáticos extremos ocorrem também devido às características climáticas regionais, como os tipos de relevos e de solos e os altos níveis de evaporação, por exemplo. A região da bacia hidrográfica do Rio Paraíba tem média de precipitação anual inferior a 700 mm e o índice de aridez inferior a 0,35, indicando regiões mais críticas no balanço precipitação-evapotranspiração, havendo ainda ausência de sistemas aquíferos sedimentares e de rios perenes com elevado porte ou com grande capilaridade, fatores que representariam uma potencial fonte de suprimento e uma segurança hídrica para a região (ANA, 2013 p.51- 52).

O reservatório Epitácio Pessoa, localizado na região da bacia hidrográfica do Rio Paraíba e na sub bacia do rio Taperoá, apresenta índices pluviométricos anuais médios que variam entre 370 a 760 mm na região do médio Paraíba, 600 a 1900 mm na região do baixo Paraíba e 300 a 900 mm na do alto Paraíba; já a sub bacia do Rio Taperoá apresenta variação com índices entre 333,6 mm e 715 mm anuais (AESAs, 2006).

O ciclo de secas vem permeando o estado da Paraíba desde os anos de 1990, quando o fenômeno *el niño*, entre os anos de 1997 a 2000, também evidenciou uma crise de abastecimento e consequente racionamento em algumas barragens do estado, dentre elas a Eptácio Pessoa que, em dezembro de 1999, chegou ao patamar de 14%, conforme sinaliza Rego et al (2000); cabe ressaltar que, naquele momento, a motivação da crise hídrica de abastecimento foi a ausência de gerenciamento, as falhas no manejo do reservatório, a irrigação descontrolada, as perdas excessivas no sistema de adução e a falta de proposta para melhoria na eficiência do sistema até dezembro de 2003. Embora tenha havido uma sequência de chuvas abundantes, provocados pelo fenômeno *la niña* entre 2004 e 2011, no período de janeiro de 2012 até 2018 um novo estágio de seca do *el niño* se iniciou e, conseqüentemente, o volume dos reservatórios foi decaindo devido, também, às retiradas para abastecimento humano e irrigação, além das perdas naturais por evapotranspiração.

A partir de junho de 2013, o açude Eptácio Pessoa já estava com os níveis críticos de 48,30% da capacidade, fazendo com que a ANA e a AESA realizassem as primeiras ações de combate à seca: promoveram um acordo verbal com os agricultores, no intuito de diminuição das retiradas para irrigação. Logo mais, em outubro de 2013, a CAGEPA e o Ministério Público da Paraíba assinaram um acordo, segundo o qual a primeira reduziria as perdas do sistema de distribuição de água, calculadas em 48,48% da água tratada (RÊGO et al., 2017).

Em dezembro de 2014, o volume da barragem atingiu o patamar de 24% de sua capacidade e a CAGEPA adotou o racionamento de água em todas as 19 cidades abastecidas pelo mencionado reservatório, interrompendo, de início, a oferta durante 36 horas por semana e, em seguida, estendendo a interrupção para 60 horas semanais. O volume do reservatório continuou reduzindo, chegando a 14% (quando o racionamento foi ampliado para 84 horas semanais), depois atingiu 8,67% (passamos a 112 horas de restrição de água) e, por fim, em março de 2017, atingiu o nível mais crítico da série histórica, quando o volume do manancial alcançou 2,9% de sua capacidade (BEZERRA, 2019).

Segundo Rodrigues (2022), o processo de estiagem está diretamente vinculado à redução das precipitações pluviométricas, ao atraso dos períodos chuvosos e/ou à ausência de chuvas previstas para uma determinada temporada em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição; enquanto a seca, do ponto de vista meteorológico, é uma estiagem prolongada, que provoca uma redução demasiada das reservas hídricas existentes. As duas situações climáticas são, historicamente, comuns na Paraíba, especialmente na região do semiárido, onde o déficit hídrico é bastante elevado durante quase todo o ano, tendo em vista que as chuvas se concentram em curtos períodos.

No período da série temporal entre 2011 a 2020, ocorreu uma estiagem de grande proporção na Paraíba, a qual atingiu cerca de 14.732.491 pessoas, contudo, o período entre 2017 e 2018 permanece como o que mais teve pessoas afetadas pela seca (coincidentalmente, anos posteriores a estiagem de 2012 a 2016), isto é, cerca de 3 a 3,5 milhões de paraibanos sofreram algum tipo de impacto negativo, não só no aspecto de abastecimento hídrico, mas também no desenvolvimento das práticas agrícolas de sequeiro e pecuária, deixando pequenos agricultores e pecuaristas na luta diária para obter água para o seu próprio sustento (MEDEIROS E BRITO, 2017).

A última grande estiagem ocorrida na Paraíba entre 2012 e 2018 teve o ápice de severidade no ano de 2016, fase mais crítica que, segundo dados do relatório da Gerência Executiva Estadual da Defesa Civil da Paraíba (GEEDEC), provocou um prejuízo significativo a um número cada vez maior de pessoas, em 206 municípios no estado, chegando ao patamar de 1.915.660 pessoas afetadas diretamente, no intervalo entre 2012 e 2019.

Conforme Silva (2019), os efeitos da seca nas barragens da Paraíba advêm do alto índice de evaporação no período da estiagem de 2012/2018, no qual os níveis mensais, entre setembro e janeiro, atingiram a média de 250 mm (200 mm nos demais meses do ano). No solo paraibano, cerca de 65% das barragens apresentaram perda em seu volume por evaporação e, em torno de 40% da água represada em reservatórios foi perdida pela evapotranspiração; além disso, a baixa no nivelamento dos reservatórios é proveniente dos baixos índices pluviométricos, registrados nos últimos anos, e das elevadas taxas de calor dissipado – 463 reservatórios do Nordeste Setentrional tiveram seu volume de água reduzido (BEZERRA e BEZERRA, 2016), entre estes: Araras, São Gonçalo e Engenheiro Ávidos. Vale salientar que os parâmetros regionais avaliados são, na maioria das vezes, grandezas inversamente proporcionais ao volume de água dos reservatórios (FERREIRA e KEMENES, 2019).

As secas no semiárido paraibano são consideradas eventos climáticos extremos e classificadas como desastres naturais (SILVA e MOURA, 2018). No espaço temporal de seis anos, foi observado que as secas e, conseqüentemente, as crises que provocaram os desastres ambientais por estiagem, desencadearam decretos por Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) entre os anos de 2003 e 2016 na região o Alto Sertão da Paraíba.

Os dados oficiais de reconhecimento dos desastres são de responsabilidade do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e do Ministério da Integração (MI), cujo monitoramento entre 1991 a 2018 constatou e totalizou através de dados oficiais do estado da Paraíba 503 desastres climáticos na região onde estão localizadas duas das três maiores barragens do estado: a barragem de Engenheiro Ávidos (Cajazeiras) e o complexo

Hídrico Coremas Mãe d'água (Coremas), ambas no Alto Sertão. Desse total de desastres, 493 foram decretados por Situação de Emergência, 485 destes por estiagem, 8 devido à seca e 10 por estado de calamidade pública.

Em 2013, período da última grande seca, houve um aumento no número de decretos, na Paraíba, foram registrados 117 e todos os municípios do alto sertão paraibano aumentaram 3 vezes o número em relação a 2003; somado a isto os baixos índices chuva ficaram abaixo da média histórica no período, situação agravada pelo fenômeno El Niño das variabilidades climáticas globais (OLÍMPIO, 2018).

Fatores climatológicos como El Niño (ocorrido na Paraíba entre 1997 a 2000 e 2012 e 2018) evidenciaram a influência do padrão estrutural da rede hidrográfica, o porte da cobertura vegetal e as características geoambientais e podem ser condicionantes na frequência, duração e intensidade dos danos e prejuízos relacionados às secas, por exemplo; as formas de relevo e a altitude da área podem condicionar o deslocamento de massas de ar, interferindo na formação de nuvens e, conseqüentemente, na precipitação (RODRIGUES, 2022).

Diante dos fatores e intervalos temporais analisados neste estudo, percebemos que as crises hídricas acontecem independente de divisas e fronteiras de mapas geográficos, atingindo rios e barragens nos grandes cursos de águas, como no caso dos mais relevantes reservatórios de água do estado da Paraíba.

3.5 MAPEAMENTO GEOGRÁFICO DAS ÁREAS/BARRAGENS ESTUDADAS

Diante da problemática analisada no território paraibano, percebeu-se a necessidade da realização de um mapeamento geográfico dos municípios e barragens analisados, o que se consolidou por meio de mapas, elencados a seguir.

O primeiro mapa consiste na localização estadual das três barragens mencionadas no decorrer do estudo: Engenheiro Ávidos, Coremas Mãe-d'água e Epitácio Pessoa.

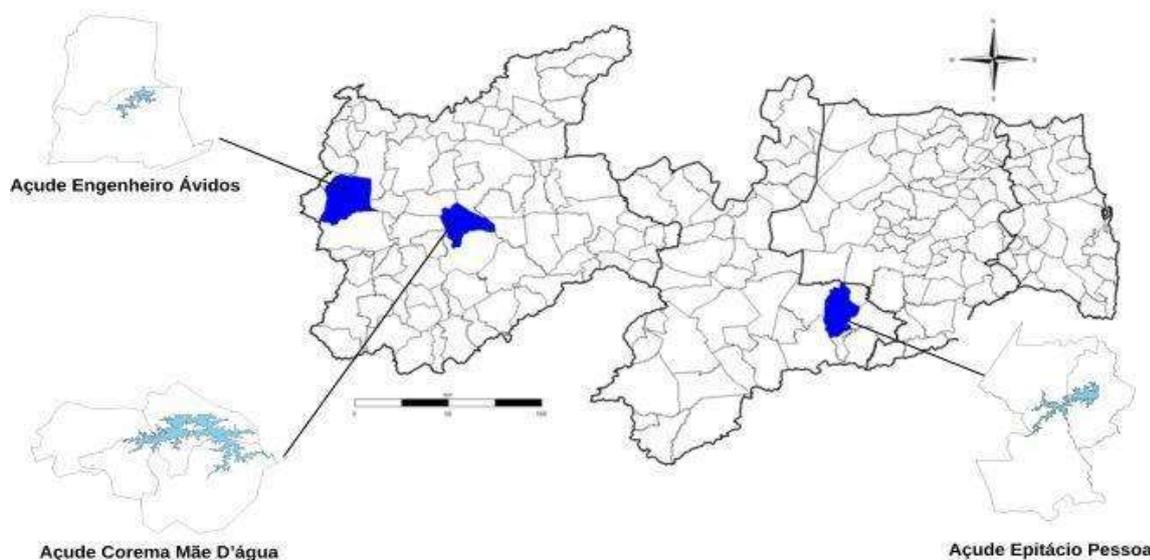


Figura 1: Mapa de localização das barragens Engenheiro Ávidos, Coremas Mãe-d'água e Epitácio Pessoa.
Fonte: elaborado pelo autor, 2024

O mapa apresenta as macro escalas das barragens em seus respectivos municípios sedes de abrangência, sendo Engenheiro Ávidos em Cajazeiras, Coremas Mãe d'Água na cidade de Coremas e Epitácio Pessoa em Boqueirão.

De modo mais específico, detalhamos cada um dos municípios citados, tanto ilustrando suas respectivas localizações, através dos mapas, quanto apresentando suas peculiaridades, as quais viabilizam um melhor entendimento do contexto de mudanças climáticas, sobretudo hídricas, que permeiam o solo paraibano.

Na figura 2 vislumbramos o mapa de localização do município de Cajazeiras.



Figura 2: Mapa de localização do município de Cajazeiras.
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

O Município de Cajazeiras está inserida na região hidrográfica do Rio Piranhas-Assú e na sub-bacia do Rio do Peixe, tendo em seu território o manancial da barragem de Engenheiro Ávidos, localizada no distrito municipal homônimo, possuindo ainda, o 3º maior manancial hídrico do estado, com capacidade de armazenamento de 293 milhões de metros cúbicos de água; além disso, abriga o Açude Lagoa do Arroz, responsável pelo abastecimento hídrico local e, ainda, das cidades circunvizinhas. O clima é caracterizado como tropical quente e seco.



Figura 3: Mapa de localização do município de Coremas-PB.
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A cidade de Coremas fica na região metropolitana do Vale do Piancó e da sub-bacia hidrográfica do Rio Piancó, totalmente integrante do semiárido, possuindo um clima tropical quente e seco; ademais, conta com a maior barragem do estado: o Complexo Coremas Mãe d'Água, cuja capacidade de armazenamento é de 1,300 bilhões de metros cúbicos de água, considerado o quinto maior açude do Brasil.

Por fim, a imagem de número 4 mapeia a localização do município de Boqueirão, localizado na mesorregião da Borborema.



Figura 4: Mapa de localização do município de Coremas.

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Boqueirão possui uma área que abrange 373,077 km², com uma população de 17.598 habitantes e está inserida na região popularmente conhecida como Cariri Paraibano, a qual é caracterizada por um clima tropical quente e seco (chuvoso no inverno e seco no verão).

Quando tratamos dos principais mananciais hídricos da Paraíba, trazemos os rios Piranhas, Piancó e Paraíba, os quais são expostos, individualmente, nas imagens a seguir:

A figura 5 trata-se da localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas que, segundo a AESA (2022) e o Plano Estadual de Recursos Hídricos (2022), é caracterizada pela junção de rios temporários e perenes que abastecem o Rio Piranhas-Açu, que é interestadual e abrange cerca de 400 km de extensão, abastecendo também o estado do Rio Grande do Norte.



Figura 5: Bacia hidrográfica do Rio Piranhas.

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A bacia hidrográfica do Rio Piranhas nasce no amontante da Serra do Bongá, no município de Bonito de Santa Fé – PB, envolvendo cerca de 102 municípios no sertão da Paraíba, onde estão localizados os dois maiores mananciais hídricos do estado: o Açude de Engenheiro Ávidos e o Complexo hídrico Coremas Mãe d'Água, inserido na sub bacia do Rio Piancó. O Rio Piranhas é a maior bacia hídrica da região do Sertão da Paraíba.

A ilustração a seguir (figura 6) consiste no mapa de localização da Sub-bacia hidrográfica do Rio Piancó, um dos principais rios que compõem o Rio Piranhas-Açu; possui como traço característico a nascente do rio Piancó, que tem origem na divisa das serras dos estados da Paraíba, Ceará e Pernambuco, no entanto, a divisão hídrica advém dos vales dos rios Pajeú, Jaguaribe e Piranhas-Açu, recebendo o nome de Piancó ao adentrar no município de Conceição, no Sertão da Paraíba.

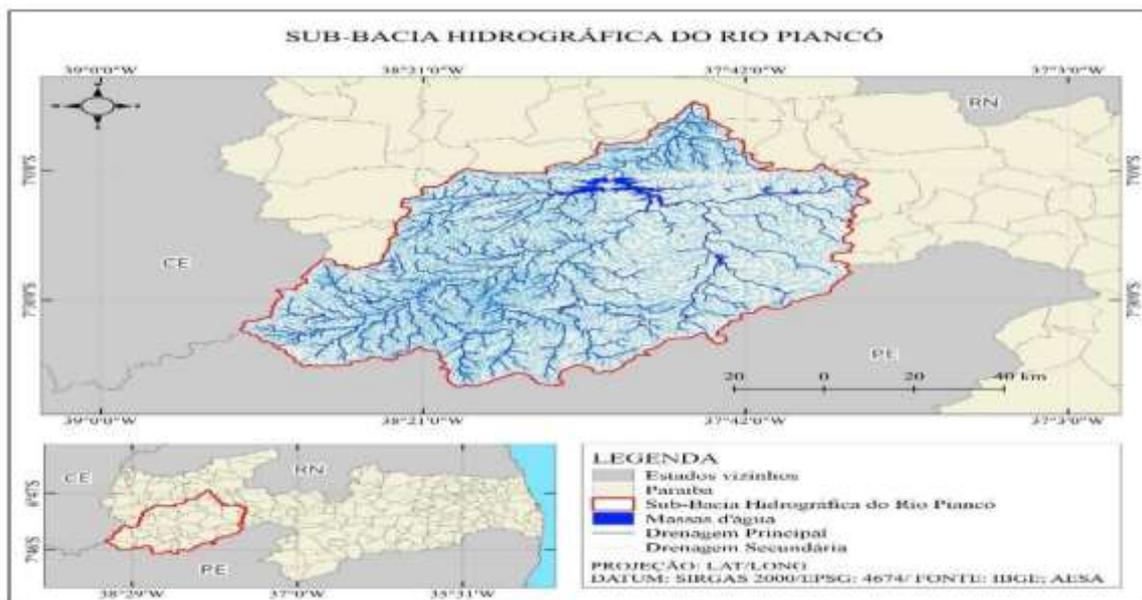


Figura 6: Sub-bacia hidrográfica do Rio Piancó.
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Cabe ressaltar que a Sub-bacia hidrográfica do Rio Piancó termina seu curso hídrico na barragem de Coremas Mãe d'Água, unindo-se ao Rio Piranhas-Açu, ainda no território da Paraíba, cobrindo uma área de 5.683 km², a qual comporta cerca de 26 municípios, abastecendo uma população de quase 200 mil habitantes (AESA, 2022).

Finalizando essa proposta de mapeamento, apresentamos na figura 7, o mapa de localização do Rio Paraíba, segunda maior bacia hidrográfica do estado, que se estende por uma área de 20.071,83 km², correspondendo a 38 % do território paraibano. O Rio Paraíba abastece cerca de 1,828 milhões de habitantes, o que faz referência a 52% da população do estado, possuindo 380 km de extensão desde a montante da nascente do mesmo, na Serra de Jabitacá, e 1.079 metros de altitude, de Monteiro até a foz, em Cabedelo, Santa Rita e Lucena. Além disso, o rio mencionado é um dos principais do semiárido paraibano, sendo alimentado pela sub-bacia do Rio Taperoá, Gurinhém, Sanhauá, Paroeira e Soé.

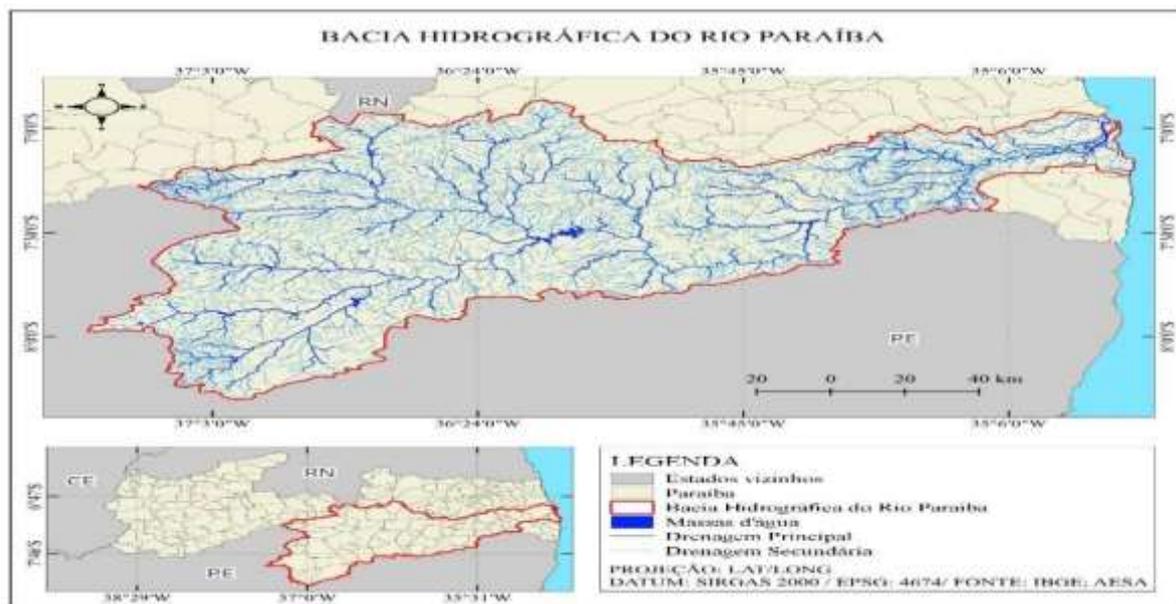


Figura 7: Bacia hidrográfica do Rio Paraíba.
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Vale destacar que a bacia hidrográfica do Rio Paraíba é o segundo maior manancial hídrico do estado, com capacidade para armazenar mais de 400 milhões de metros cúbicos de água e sendo responsável pelo abastecimento e distribuição hídrica de grandes centros urbanos como Campina Grande e João Pessoa, por exemplo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISES DOS DADOS

Diante do cenário analisado, percebemos que quanto maior o grau de vulnerabilidade da população, maiores serão os impactos dos fenômenos e desastres naturais (FARIAS, 2020); contudo, a incidência desses fenômenos está relacionada a uma série de fatores, entre os quais se encontram a irregularidade nos índices pluviométricos, os elevados níveis de evaporação, entre outras questões geográficas, peculiares de cada região (relevo e solo, por exemplo).

Nos gráficos a seguir, podemos perceber que os intervalos da série histórica de 29 anos, de janeiro de 1994 a setembro de 2023, foi constatado que durante os períodos de 1997 e 2000 e 2012 e 2018 o estado enfrentou nas suas barragens o período mais crítico de crise hídrica ocasionado pelas interferências climáticas do fenômeno el niño. Nessa realidade, a falta de planejamento e de gestão hídrica, aliada às falhas das autoridades sobre os cenários futuros das mudanças climáticas na escala regional e, ainda, as questões de suprimento hídrico para a

população e para os serviços industriais e de irrigação, agravados pelo desperdício, contaminação e evaporação implicaram em consequências hídricas nos mananciais e nas bacias hidrográficas, gerando baixa oferta de água devido aos indicadores pluviométricos nas margens dos Rios Paraíba, Piancó e Piranhas, os quais abastecem as barragens.

A seguir, o gráfico demonstra a série temporal do volume hídrico, em percentual, da barragem de Coremas entre o período referente a janeiro de 1994 a setembro de 2023:

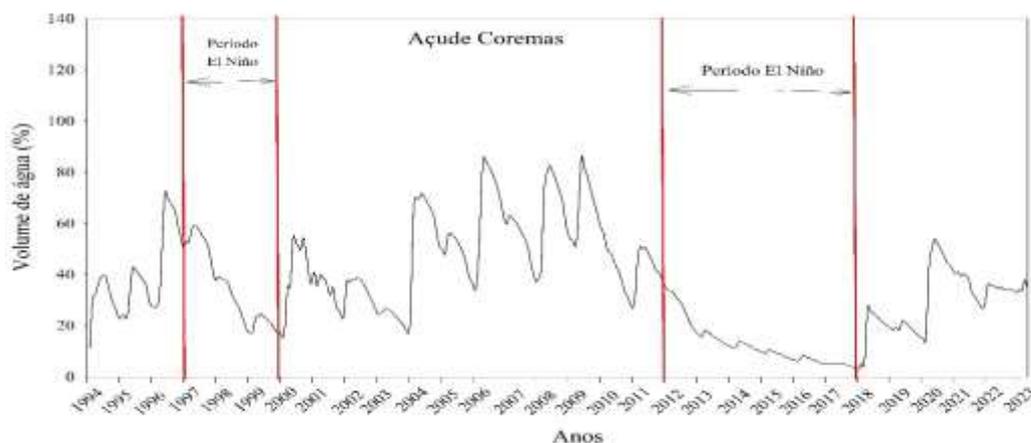


Figura 8: Série temporal do volume da barragem de Coremas.

FONTE: AESA, 2023. elaborado pelo autor, 2024.

Na Figura 8 demonstra o nivelamento hídrico que a barragem de Coremas enfrentou durante o período extremo climático do el niño, entre 1997 a 2000. Nos anos de 2012 e 2018, que foram os mais críticos, a barragem chegou ao volume de 16%, em 2000, e à marca de 2,43% em dezembro de 2018, tendo um aumento considerável nos níveis de recarga de água somente em 2004, durante o período de la niña, chegando ao nível de 85% em 2009; no período pós crise hídrica de 2012 a 2018, o manancial recuperou os volumes hídricos em 60% no ano de 2020, durante o período de la niña.

Na próxima imagem (figura 9), o gráfico relaciona a série temporal do volume hídrico percentual da barragem de Mãe d'água, a qual integra o complexo Coremas-Mãe d'água, apresentando o período da série histórica da barragem, entre janeiro de 1994 e setembro de 2023:

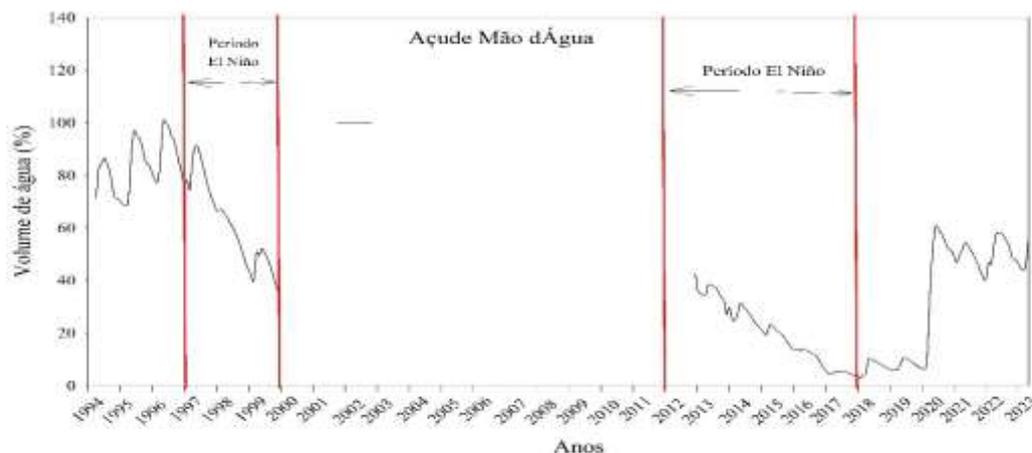


Figura 9: Série temporal do volume da barragem de Mãe d'Água.
Fonte: AESA, 2023. elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Na linha do tempo de análise do comportamento da série temporal do nível hídrico da barragem Mãe d'água foi constatada que, no período entre 2000 e 2021, não houve coleta de dados oficiais do volume da barragem, contendo, portanto, dados oficiais de medição apenas entre 1994 e 2000, devido à desativação de bases de medição metrológicas da SUDENE; somente a partir do ano de 2013 houve o restabelecimento da estação de medição e os dados oficiais contínuos do volume do manancial foram assumidos pela AESA.

Além disso, foi constatado durante o período do el niño, ocorrido entre 1997 e 2000, percebeu-se uma queda vertiginosa no volume da barragem de Mãe d'Água, o que era estimado em 80% em 1997, caiu para 40% no ano 2000. Foi identificado, ainda, que o intervalo de tempo entre 2013 e 2018 foi o mais intenso da série temporal, chegando ao índice de 2,57% em dezembro de 2018 e tendo um aumento considerável nos níveis de recarga hídrica de 60% do volume a partir de 2020, durante o período de la niña.

O gráfico a seguir (figura 10) relaciona a série temporal do volume hídrico percentual da barragem Epitácio Pessoa, fazendo associação do período de janeiro de 1994 a setembro de 2023, descrevendo o comportamento climático da barragem entre o período do el niño, especificamente, entre 1997 e 2000 e 2012 e 2018:

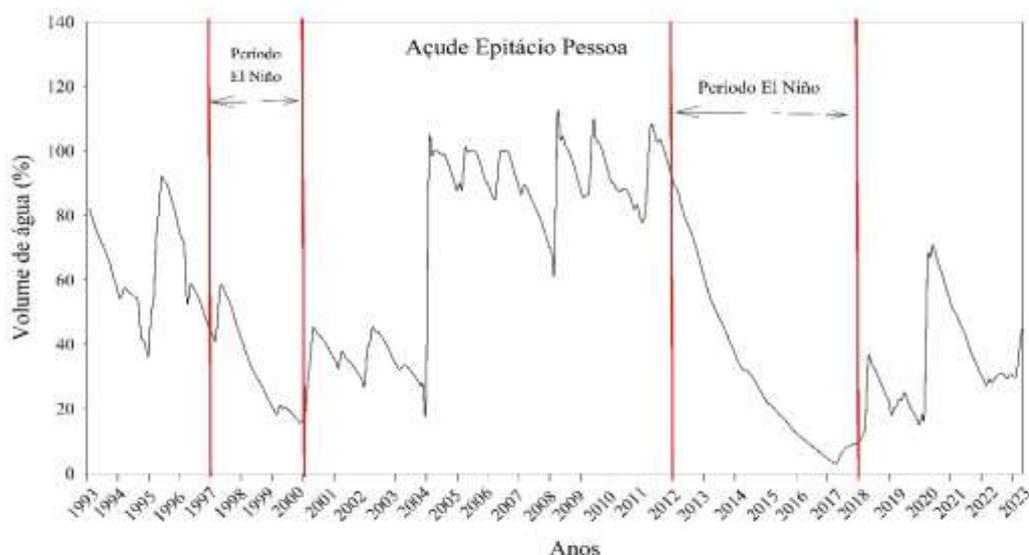


Figura 10: Série temporal do volume da barragem Epitácio Pessoa.
Fonte: AESA, 2023, elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Observando a imagem, verificamos que dois períodos de fenômenos climáticos influenciaram nas quedas dos volumes da barragem Epitácio Pessoa: de 1997 a 2000, quando chegou ao patamar de 14% (dezembro de 1999), e 2017, considerado o mais crítico da série histórica do manancial, quando, em abril do mesmo ano, foi registrado o nível mais baixo de 3,18%; entretanto, o aumento do volume de água foi registrado no mesmo ano.

Cabe destacar que entre os anos de 2004 e 2005, houve um aumento considerável do volume do manancial, fazendo com que a barragem fosse de 20%, em 2004, a 100% imediatamente no ano seguinte; outro período em evidência foi entre os anos de 2008 e 2009, quando as médias anuais dos níveis ultrapassaram a marca dos 100% e iniciou o período marcado fortes chuvas, iniciado em 2004 pelo fenômeno la niña, perdurando até 2011, reincidindo posteriormente, a partir de 2020, quando chegou ao patamar de mais de 60% da capacidade.

Tratando-se da barragem Engenheiro Ávidos, a figura 11 apresenta a série temporal do seu volume hídrico no intervalo de 29 anos (janeiro de 1994 a setembro de 2023), mostrando também o nivelamento hídrico da barragem durante o el niño, entre 1997 a 2000 e 2013 a 2018:

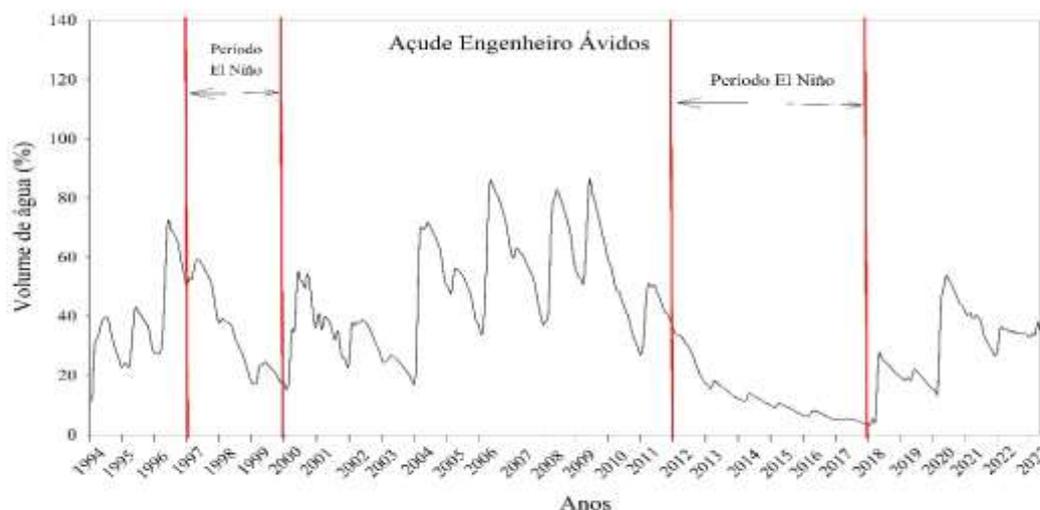


Figura 11: Série temporal do volume da barragem Engenheiro Ávidos.

Fonte: AESA, 2023, elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

A partir do gráfico acima, constatamos que na série temporal foi evidenciado o triênio de 1997 a 2000, quando o manancial sofreu uma queda nos níveis dos volumes hídricos de 55%, em 1997, para 18%, em 2000; entretanto, o período de 2012 a 2018 foi o mais crítico da história, sendo registrado o nível mais baixo de 3,5% da capacidade, em dezembro de 2017, situação que só começou a ser revertida a partir de 2019, durante o período de la niña. Desde então houve uma recuperação dos níveis dos volumes d'água, chegando à marca de 55%, mantendo-se um constante devido, também, à chegada das águas do eixo oeste da transposição do Rio São Francisco na barragem Engenheiro Ávidos, em janeiro de 2022, possibilitando a manutenção de uma média anual acima dos 40%.

A análise do gráfico a seguir (figura 12) mostra-nos que, no intervalo de tempo analisado (1994 a 2023), os percentuais das médias anuais dos volumes de água das barragens tiveram uma considerável queda nos níveis de armazenamento entre 1997 e 2000 e entre 2013 e 2017, o que se deve às mudanças climáticas decorrentes das ações do el ninõ e dos baixos níveis pluviométricos, fatores que comprometeram as recargas dos Rios Paraíba, Piancó e Piranhas, dos quais as média percentuais anuais dos volumes de água das barragens Eptácio Pessoa e Mãe D'água ficarem, respectivamente, abaixo dos 20%, em 1999 e de 3,5%, em 2017.

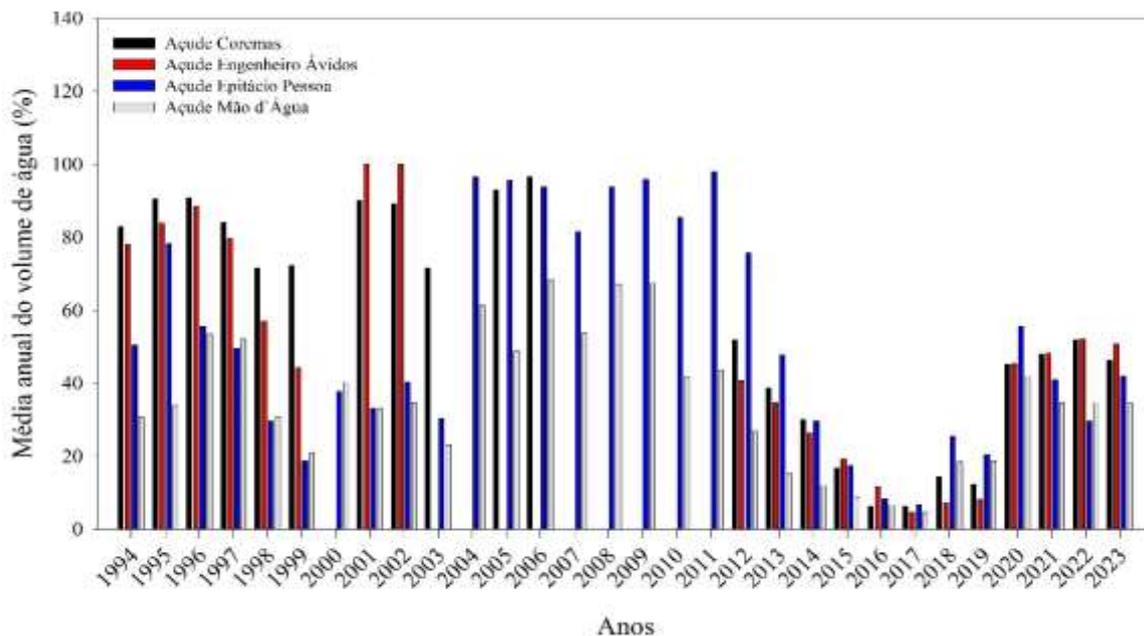


Figura 12: - Comparação média de volume anual de água por barragem.
Fonte: AESA, 2023. elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Podemos constatar ainda que, entre 2004 e 2011, devido ao fenômeno la niña, tivemos chuvas abundantes e a barragem de Engenheiro Ávidos, nos anos de 2005 e 2006, atingiu o volume de quase 100%, e a barragem Epitácio Pessoa manteve média anual acima de 95% do nível d'água, o que perdurou até 2012, quando a média anual caiu para 80%, chegando a 3,18% em 2017. Salientamos que os dados de volume de água correspondentes às barragens de Coremas e Engenheiro Ávidos nos anos de 2000, 2003, 2004 e de 2006 a 2011, não puderam ser coletados devido à desativação das estações meteorológicas da SUDENE, cuja manutenção, por parte da AESA, foi realizada, normalizando as atividades a partir de 2012, ano em que se iniciou o último el niño, que perdurou até 2018.

A seguir, na figura 13, notamos a queda, em milímetros, os valores totais de precipitação anual, nos 29 municípios integrantes da bacia do Rio Piancó, nos períodos marcados pelo fenômeno climático el niño, entre 1997 e 2000 e 2012 e 2017:

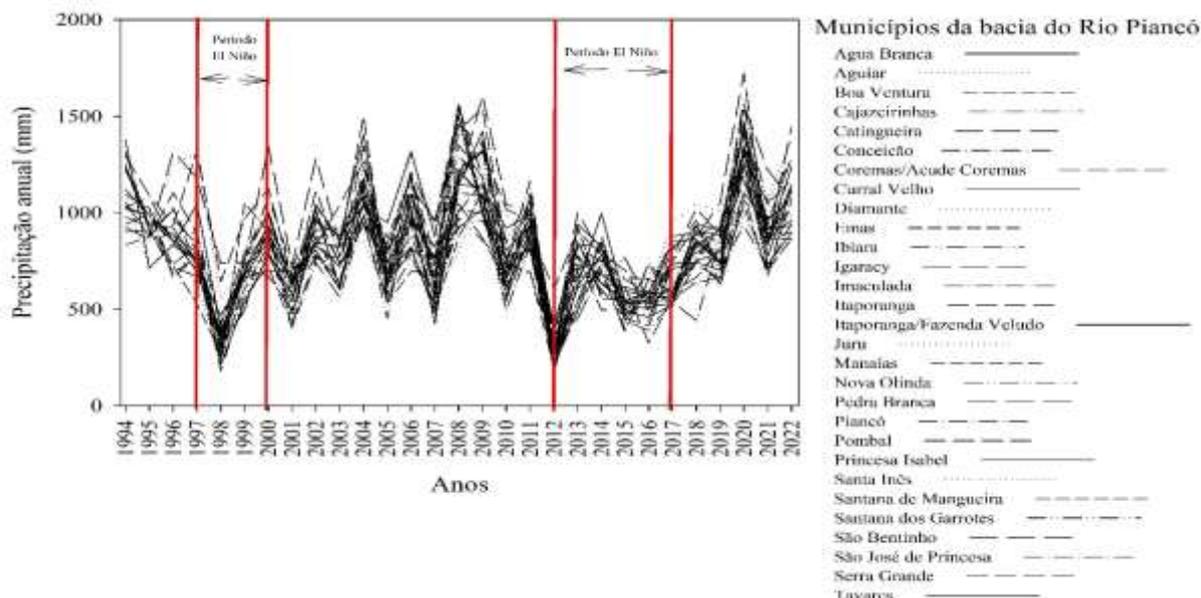


Figura 13: Precipitação anual, em mm, por município na bacia do rio Piancó.

Fonte: AESA, 2023. elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Verificamos, portanto, que em 29 municípios pertencentes à bacia do Rio Piancó os valores totais de precipitação anual ficaram abaixo dos 500 mm (por município), ficando entre 200 mm e 450 mm entre 1997 e 1998. Percebemos, ainda, que, também no ano de 2012, esses municípios destacaram-se devido à média mais crítica de precipitação anual (abaixo dos 200 mm), por outro lado, a partir dos anos de 2004, 2009, 2010 e 2020 os níveis anuais voltaram a crescer, situando-se acima média pluviométrica: entre 800 e 1500 mm anuais.

Na sequência, evidenciamos na figura 14 que, entre 1997 e 1998, houve uma queda nos níveis de precipitação anual nos 8 municípios integrantes do alto curso da bacia do Rio Piranhas, situação refletida pelos efeitos do fenômeno el niño, resultando em uma média de precipitação anual de 500 mm no ano de 2015, quando a média de chuvas anuais ficou abaixo de 500 mm e, nos anos de 1998 e 2015 configuraram-se como os mais baixos de médias de precipitação na série temporal analisada.

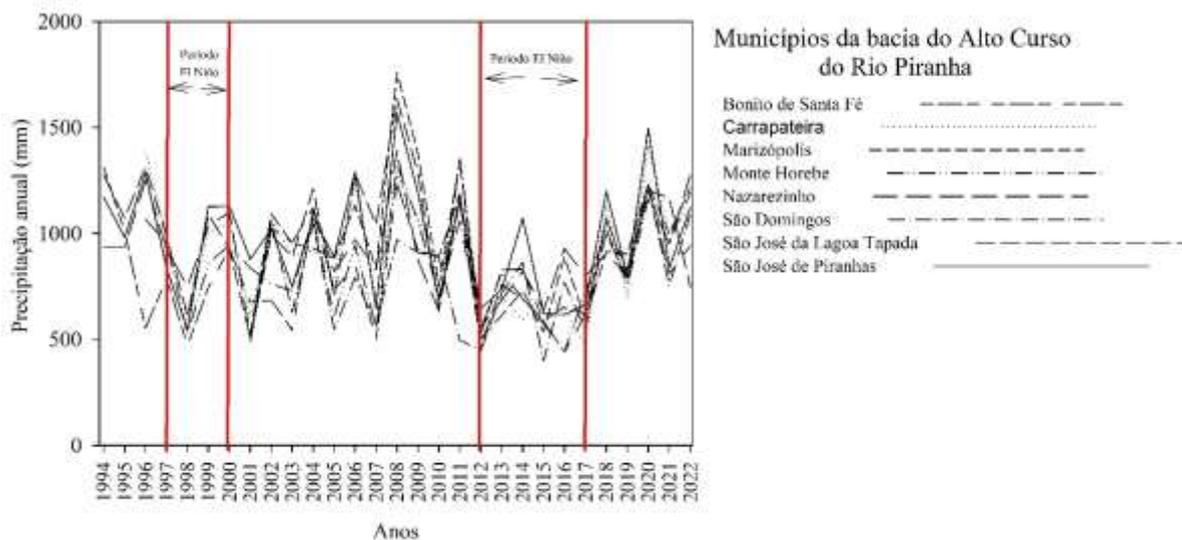


Figura 14: Precipitação anual, em mm, por município na bacia alto do curso do Rio Piranhas.
Fonte: AESA, 2023. elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Ainda de acordo com o gráfico, identificamos que o ano de 2008 foi o melhor da média histórica de precipitação anual, atingindo uma marca expressiva, acima dos 1500/1800 mm de chuvas anuais, crescimento propiciado pela incidência do fenômeno climático la niña; posteriormente, entre os anos de 1994, 1996, 2008, 2011 e 2020, fora atingido uma média anual entre 1200 e 1500 mm.

Na figura 15, apresentamos um gráfico que mostra os valores totais de precipitação anual, em mm, em quatro estações meteorológicas da AESA, de medição localizada nos municípios integrantes da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, no período entre janeiro de 1994 e dezembro de 2022.

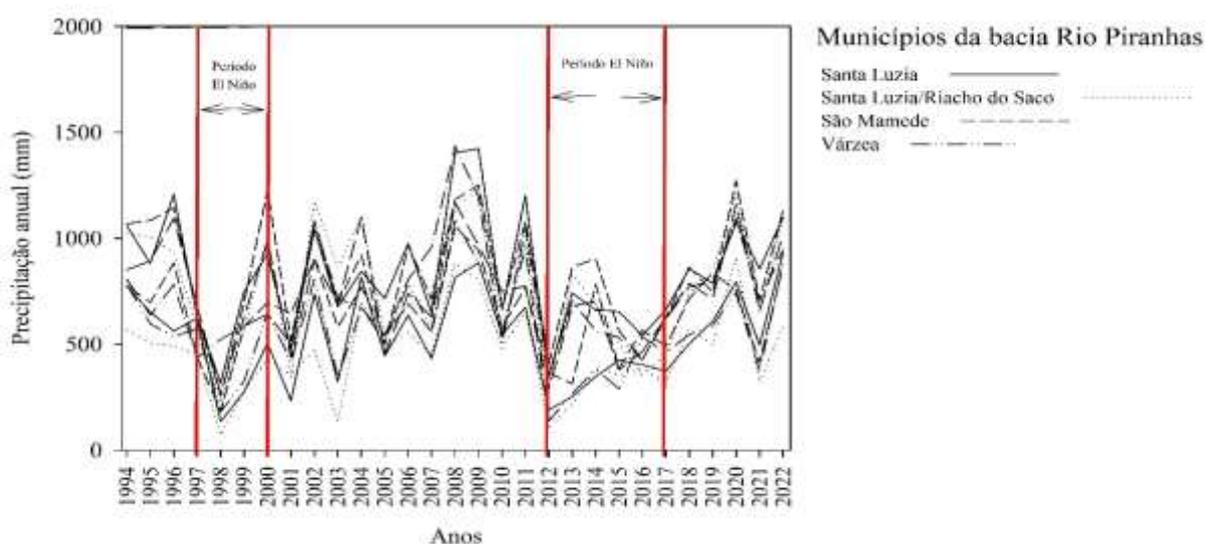


Figura 15: Precipitação anual, em mm, por município na bacia do Rio Piranhas.
Fonte: AESA, 2023. elaborado pelo Autor (GOMES, 2024).

Ao analisarmos este gráfico, percebemos que todos os municípios do Rio Piranhas ficaram abaixo da média de 200 mm anuais de precipitação no ano de 1998, fator relacionado ao forte impacto sofrido em decorrência do fenômeno el niño, repetindo a situação de 2012, quando foi enfrentada uma estiagem prolongada que, conseqüentemente, diminuiu o volume da barragem de Engenheiro Ávidos; além disso, também foi identificado que durante os períodos de fortes chuvas, provocadas pelo la niña, tornando os anos de 2008 e 2009 os melhores nas médias de precipitação de chuva (uma média de 1200 a 1400 mm).

O gráfico da figura 16 apresenta os valores totais de precipitação anual, em mm, nos 16 municípios que integram o médio curso da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, no período de janeiro de 1994 a dezembro de 2022.

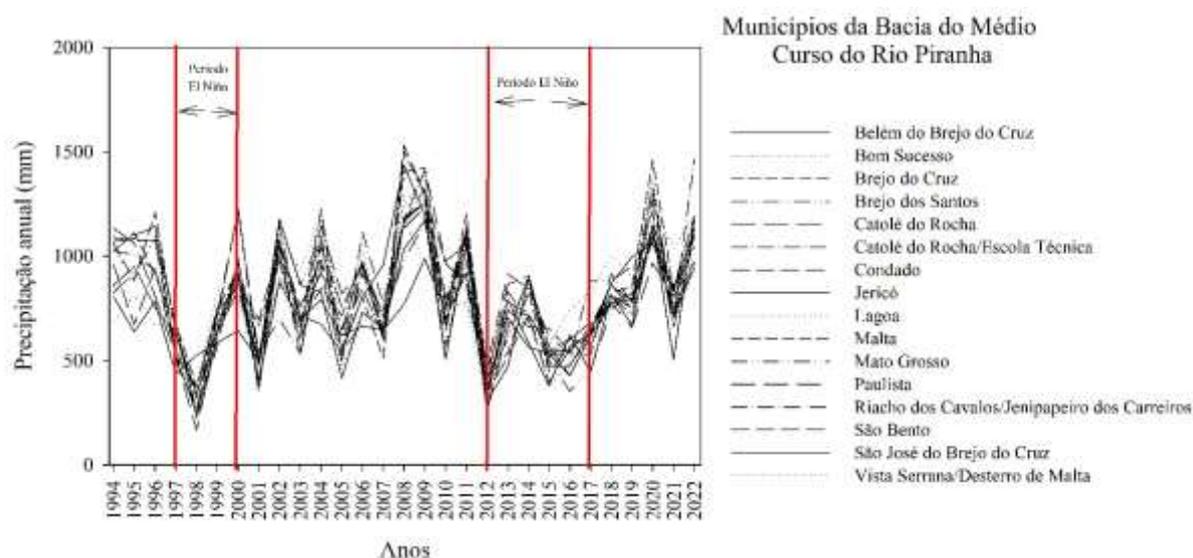


Figura 16: Precipitação anual, em mm, por município na bacia do médio curso do Rio Piranhas.

Fonte: AESA, 2023. elaborado pelo Autor (GOMES, 2024).

A partir da ilustração acima, podemos verificar que, mediante os dados dos índices pluviométricos coletados, tivemos dois períodos de el niño, de 1997 a 2000 e de 2012 a 2017, dos quais as médias de precipitação anual ficaram abaixo de 200 mm em 1998 e dos 400 a 450 mm em 2012, 2015 e 2016, situações ocasionadas por estiagens prolongadas, conseqüentemente prejudicando o abastecimento e a perenização dos leitos do Rio Piranhas até a Barragem de Engenheiro Ávidos. Apesar disso, também pode ser visualizado no gráfico picos de chuvas entre 1000 e 1500 mm anuais, nos períodos de 1996, 2004, 2008, 2011 e 2020, anos marcados pelo fenômeno la niña, que provocou uma maior vazão do Rio Piranhas e cheias em ambas barragens na segunda metade dos anos 2000.

Na figura 17 expusemos um gráfico que demonstra valores totais de precipitação anual de chuvas, em mm, nos 14 municípios que integram o alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, no período compreendido entre janeiro de 1994 e dezembro 2022.

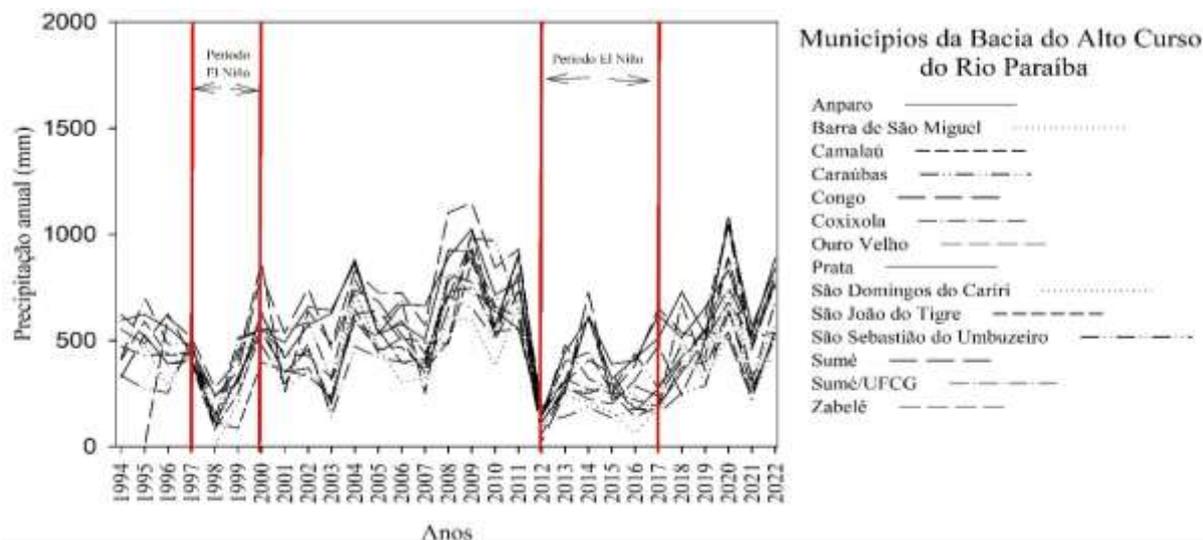


Figura 17: Precipitação anual, em mm, por município na bacia do alto curso do Rio Paraíba.

Fonte: AESA, 2023. elaborado pelo Autor (GOMES, 2024).

No gráfico, podemos notar duas quedas nos níveis de precipitação anual em 14 estações de medições da AESA, nos municípios que integram o alto curso bacia do curso do Rio Paraíba, entre os anos de 1997 e 1998, que marcaram uma média baixa de 100 mm de chuvas por ano, e também em 2012, quando obtivemos uma média ainda mais baixa, de 50 mm anuais, efeitos do fenômeno climático el niño.

Outra observação pertinente acerca da figura 17 são os valores totais pluviométricas nos municípios de Camalaú e Barra de São Miguel, os quais registraram 0 mm nos anos de 1995 e 1998 e 5 mm em 2012 e 2016, sendo os anos de 1998, 2012, 2015 e 2016 os períodos em que foram registrados os mais baixos níveis de precipitação do intervalo de tempo analisado (28 anos), fruto do fenômeno el niño. Em contrapartida, nos anos de 2004, 2009 e 2020, a chegada do la niña trouxe um aumento na pluviosidade dos municípios localizados no alto curso do Rio Paraíba, os quais atingiram uma média de 800 a 1100 mm ao ano.

A figura 18 traz um gráfico que apresenta valores de precipitação anual, em mm, nas 16 estações de medições meteorológicas da AESA, municípios que integram a bacia do médio curso do Rio Paraíba, no período entre janeiro de 1994 e dezembro de 2022.

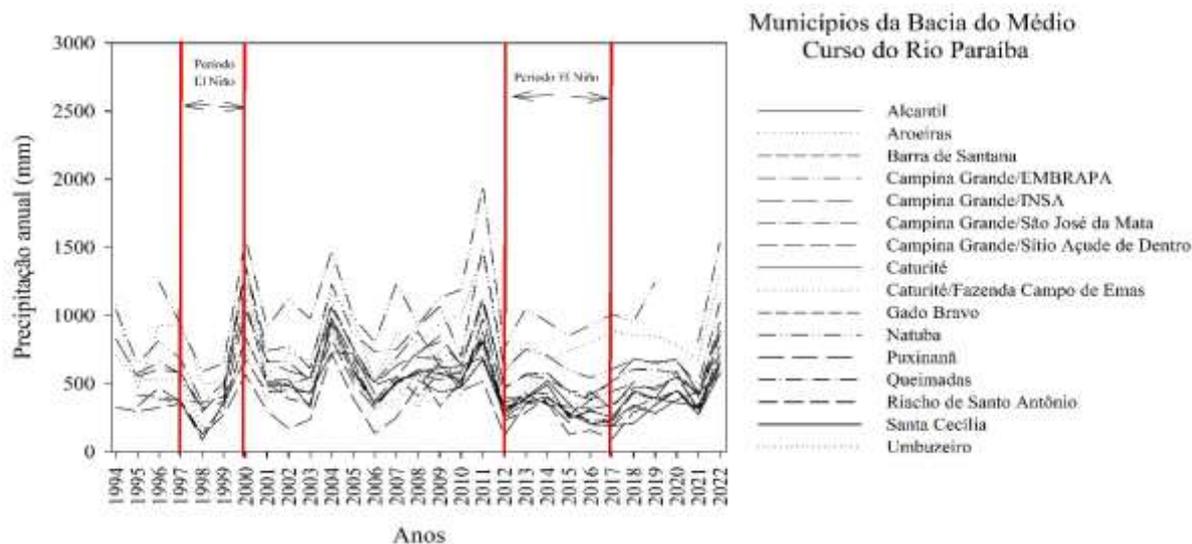


Figura 18: Precipitação anual, em mm, por município na bacia do médio curso do Rio Paraíba.
Fonte: AESA, 2023. elaborado pelo Autor (GOMES, 2024).

A análise do gráfico ilustra duas quedas nos níveis de precipitação anual nas 16 estações de medição nos municípios que integram o médio curso da bacia do Rio Paraíba, entre os anos de 1997 e 1999, registrando níveis anuais abaixo de 300 mm de chuvas. Essa redução foi ocasionada pelos fortes efeitos do fenômeno climático El Niño, diminuindo também a precipitação no intervalo de 2012 e 2017, quando obtivemos a média abaixo de 200 mm de chuvas anuais. Ressaltamos, ainda, que os anos de 1998, 2012, 2017 e 2021 foi o intervalo que se registraram as médias mais baixas de precipitação da série temporal de 28 anos (1994 a 2022), devido às estiagens provocadas pelo El Niño.

Por outro lado, constatamos também períodos de alta precipitação de chuvas nos municípios localizados no alto curso do Rio Paraíba que, em decorrência do fenômeno climático la niña, entre anos 2000, de 2004 a 2011 e 2022, atingiram uma média de pluviosidade anual de 1000, 1200, 1650 e 1500 mm, respectivamente, cenário que contribuiu para a elevação da perenização do leito do Rio Paraíba, em 2004, e para a cheia da barragem Epitácio Pessoa, em 2011.

Durante a análise dos dados coletados, foi observado que os dados de séries temporais de volumes hídricos das Barragens de Engenheiro Ávidos e complexo Coremas Mãe D`água, tiveram o período mais crítico de sazonalidade, provocados pelo el niño e la niña, entre 2012 e 2023. Foi verificada também a existência de dados antigos relacionados aos volumes dos mananciais, datados dos anos de 1930, sendo as medições de 1934 consideradas as mais antigas da barragem de Coremas, as de 1943, da barragem de Engenheiro Ávidos e a de 1963 da Epitácio Pessoa.

No decorrer da pesquisa, identificamos que as medições pluviométricas e fluviométricas eram feitas pela SUDENE, contudo, com a desativação e extinção da Superintendência no final dos anos 1990 e início dos anos 2000, os referidos dados das estações meteorológicas das barragens de propriedade da União passaram à responsabilidade da ANA, pelo uso do banco de dados Hidroweb. Durante o processo de coleta de dados, devido a questões burocráticas e administrativas, as informações anteriores a 1994 não puderam ser acessadas, entretanto, tivemos acesso aos dados quantitativos disponibilizados pela AESA, a qual só possui os dados a partir de janeiro de 1994.

A seguir, na figura 19, apresentamos o gráfico de sazonalidade mensal, por ano, do volume da barragem de Coremas, de acordo com dados de medição da AESA, compreendendo o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023.

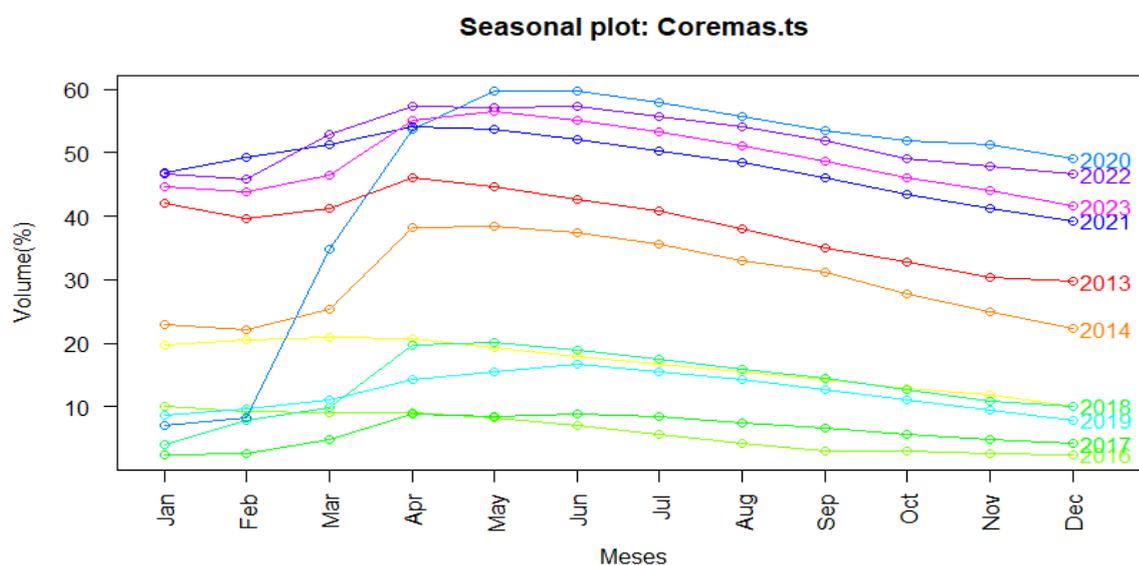


Figura 19: Sazonalidade mensal do volume hídrico da barragem de Coremas entre 2013 e 2023.

Fonte: AESA, 2024. elaborado pelo Autor (GOMES, 2024).

Neste cenário podemos perceber o comportamento do volume hídrico mensal da barragem de Coremas, entre janeiro de 2013 a dezembro de 2023, diante do qual notamos uma anormalidade da sazonal de dezembro de 2016 a 2017, quando os níveis de cotas do volume da barragem chegaram a um patamar crítico, ficando abaixo dos 10%, o que gerou a utilização da reserva técnica, ocasionando, por causa do El niño, um colapso hídrico de 7 anos no sertão paraibano.

A partir de maio de 2013 teve início um declínio no volume da barragem de Coremas, a qual passou de 42% a 30% em dezembro do mesmo ano, sinalizando indícios do El niño, o que foi recuperado entre os meses de janeiro e maio de 2020, quando o manancial, já em cota hídrica de 10%, subiu para 59% em maio, aumento significativo de 49% no volume hídrico da

barragem durante um curto período de 5 meses, graças às fortes chuvas nas cabeceiras do Rio Piancó (la niña).

Acerca da barragem Mãe d'Água, o gráfico 20 demonstra a sazonalidade mensal, por ano, do volume do manancial, conforme dados de medição da AESA, no período correspondente entre janeiro de 2013 a dezembro de 2023.



Figura 20: Sazonalidade mensal do volume hídrico da barragem de Mãe d'Água entre 2013 e 2023.

Fonte: AESA, 2024. elaborado pelo Autor (GOMES, 2024).

Observamos, portanto que, durante o decênio de 2013 a 2023, a barragem Mãe d'Água foi acometida de um declínio no volume hídrico devido à sazonalidade, sendo o triênio de 2016 a 2018 o intervalo onde os níveis da barragem chegaram ao patamar mais crítico, com um volume abaixo dos 5%, utilizando a reserva técnica e resultando no período mais crítico ocasionado pelo fenômeno El niño. O colapso hídrico, decorrente de estiagem durante sete anos no sertão paraibano, provocou ciclos de racionamentos de seis anos nos 122 municípios abastecidos pela barragem mencionada, entre 2014 a 2020.

Entre dezembro de 2014 e de 2017, o volume da barragem de Mãe d'Água declinou de 20% para 5%, sob as consequências do fenômeno climático el niño, entretanto entre janeiro e abril de 2020, diante das chuvas nas cabeceiras do Rio Piancó, obtivemos uma crescente recuperação, elevando a cota hídrica de 10%, em fevereiro, para 60%, um aumento significativo considerando um intervalo de apenas quatro meses.

Na figura 21, apresentamos o gráfico de sazonalidade mensal, por ano, do volume da barragem de Engenheiro Ávidos, em conformidade com os dados de medição da AESA, no período correspondente entre janeiro de 2012 e dezembro de 2023.

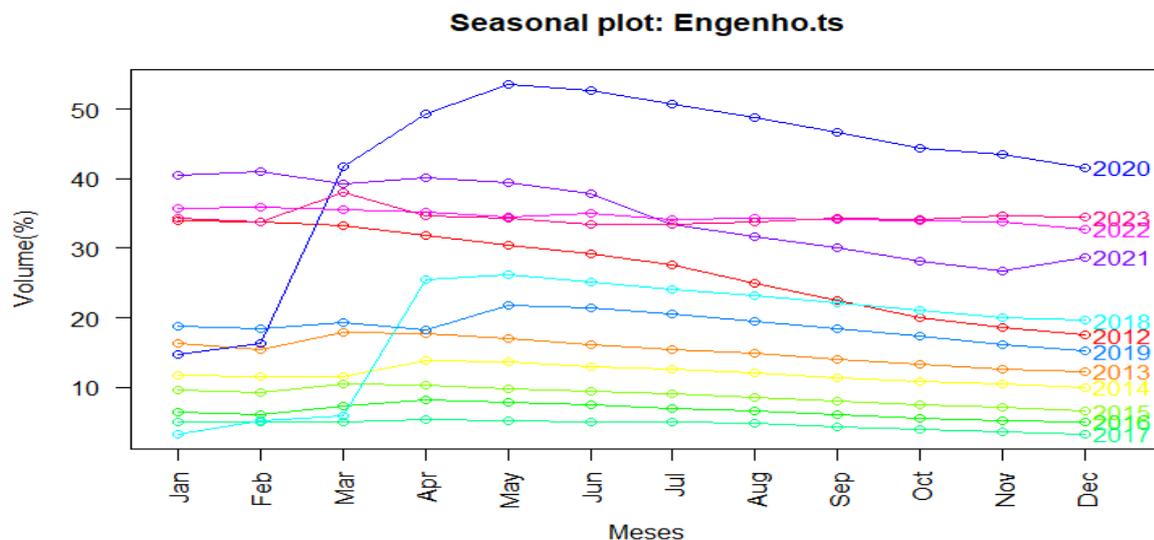


Figura 21: Sazonalidade mensal do volume hídrico, da barragem de Engenheiro Ávidos entre 2012 e 2023.
Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

A análise do gráfico 21 nos permite aferir que, durante 11 anos (janeiro de 2012 a dezembro de 2023) a barragem de Engenheiro Ávidos teve um declínio no volume hídrico devido a sazonalidade, passando de 33% em janeiro de 2012 para 18% em dezembro do mesmo ano. Em maio de 2014 teve início um período crítico quando, no triênio de 2015 a 2017, os níveis da barragem ficaram abaixo dos 4%, sendo necessário o uso da reserva técnica do manancial; esse colapso hídrico, intensificado pelo El niño, foi considerado o mais crítico desde a sua inauguração, em 1930, demandando racionamento de água durante 5 anos nos municípios abastecidos pela barragem do Engenheiro Ávidos, entre 2015 a 2019.

Apesar da situação crítica, o gráfico de sazonalidade mensal da barragem nos mostra, também, que o volume do manancial se recuperou, significativamente, em 2020, quando a cota hídrica se elevou de 12% em janeiro para 58% em maio do mesmo ano, um aumento significativo de 36% em 5 meses. Outro fator relevante que influenciou nesta retomada foi a chegada das águas do eixo norte da Transposição do Rio São Francisco, em janeiro de 2022, o que corroborou para uma estacionariedade da média do volume hídrico do manancial entre 35 a 45% entre os anos de 2022 e 2023, contribuindo para a manutenção da segurança hídrica populacional na região do alto sertão Paraibano e do Rio Grande do Norte, que também recebe as águas do Rio Piranhas-Açu, mesmo em períodos de estiagens e de grandes perdas de águas por evapotranspiração.

Na imagem a seguir (figura 22), evidenciamos o gráfico de sazonalidade mensal, por ano, do volume da barragem Epitácio Pessoa, segundo dados de medição da AESA, no período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023.

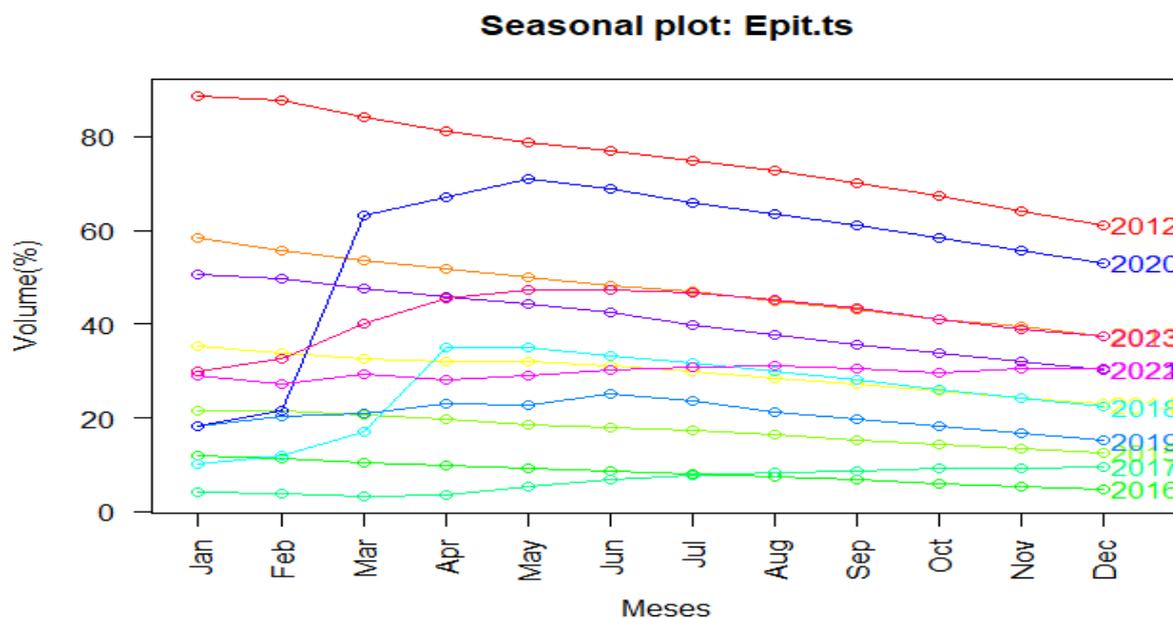


Figura 22: Sazonalidade mensal do volume hídrico da barragem Epitácio Pessoa entre 2012 e 2023.

Fonte: AESA, 2024. elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Percebemos que, no intervalo de 11 anos (janeiro de 2012 a dezembro de 2023), a barragem Epitácio Pessoa teve uma redução de volume hídrico devido à sazonalidade; em janeiro de 2012 o açude possuía 86% da sua capacidade, logo em dezembro de 2014, diminuiu para 65% e, depois deste período, chegou à marca de 30%, dando vazão à política de racionamento hídrico na região metropolitana de Campina Grande e nos 19 municípios abastecidos pela barragem Epitácio Pessoa, contexto que perdurou até 2018. Vale salientar que o biênio 2016/2017, quando a média do volume hídrico ficou abaixo dos 10%, foi considerado o mais crítico da série sazonal, provocado por fatores climáticos do El Niño.

Em abril de 2017 o manancial iniciou um processo de recuperação a partir da chegada no eixo leste das águas das Transposição do Rio São Francisco, no trecho do Rio Paraíba, quando a barragem tem uma elevação do nível hídrico de 7,7% em oito meses, passando de 2,3% em abril, para 10% em dezembro do mesmo ano. Em janeiro de 2020, o nível de água do manancial elevou consideravelmente, crescendo de 18% para 62%, isto é, um aumento de 47% em apenas cinco meses; a partir de dezembro do mesmo ano, percebemos que, de 60% da sua capacidade, o açude decaiu para uma média estacionária de 40/45% no triênio de 2021 a 2023, graças às águas da Transposição, como também à média das regularidades sazonais de chuvas

nas cabeceiras do Rio Paraíba, decorrentes dos efeitos do la niña, melhorando o volume do manancial em mais de 40%, num período de 4 anos.

Na sequência, a figura 23 ilustra o gráfico do perfil de série, em decenal anual, de séries estacionárias e não estacionárias do volume da barragem de Coremas, segundo dados de medição da AESA, no período correspondente entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023.

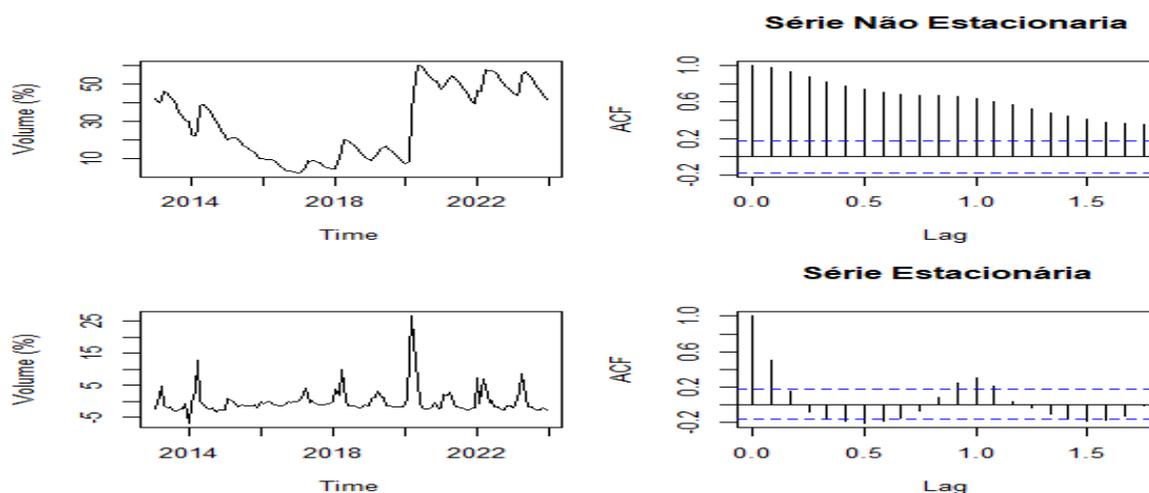


Figura 23: Perfil de Séries estacionária e não estacionária do volume hídrico, em %, da barragem de Coremas entre 2013 e 2023. Fonte: AESA, 2024, elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Podemos observar, portanto a descrição dos perfis de séries dos volumes, em %, das cotas do nível da barragem Estevam Marinho (Coremas), sobre a qual podemos aplicar testes de modelagem estatística de séries de Dick-Fuller e Mann Kendall, os quais determinam as séries estacionárias e não estacionárias, durante o intervalo de dez anos, entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023.

Identificamos, ainda, as curvas de intensidades nas séries estacionárias, entre 2014 e 2018, período classificado pelo teste de Dick-Fuller como estacionário por manter uma constante nas baixas decrescentes do volume hídrico da barragem de Coremas, durante o período climático do El niño e, a partir de 2020, uma crescente e significativa curva ascendente nos níveis de volume da barragem de Coremas entre 2020 a 2023, período classificado como La niña.

Para uma melhor análise técnica dos gráficos dos perfis de série da barragem de Coremas, devemos observar que as estacionariedades e não estacionariedades estão interligadas aos modelos matemáticos que definem o Teste de Mann-Kendall para “verificar tendência na série temporal, sob uma hipótese, porém devemos entender que amostragem da

série é independente e identicamente distribuída", conforme "observações da série que possui tendência monotônica estacionária ao longo do tempo".

O teste de Dickey Fuller é determinado quando não se rejeita a hipótese nula de não-estacionariedade, ou seja, a série não é estacionária; o perfil de série da barragem de Coremas é classificado como teste estacionário, porém o argumento do teste citado sob os valores de = -2.2918, Lag order = 5, p-value = 0.4552, sendo uma alternativa de hypothesis estacionária e os valores dos testes de Mann-Kendall: tau = 0.213, 2-sided pvalue = 0.00028837.

Os modelos e valores utilizados para os testes de Modelo de Arima de *p.d.q* para Coremas foram:

Coefficients:

Ar1	Ma1	Ma2	Sar 1	Sar 2
0,348	-0,8859	-0,1141	0,1860	0,2896
s.e 0,1567	0,1576	0,1560	0,0823	0,0915

Sigma² = 10,18: log likelihood = -335,71

AIC=683,41 AICc=684,1 BIC=700,62

Medidas de erro do conjunto de treinamento - Conjunto de treinamento:

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	
0,1806305	3,104913	1,511946	2,280329	7,557859	0,1515116	-0,002309884

Já os valores de Modelo de Arima (1,1,1) (2,0,0) [12] foram:

Coeficiente:

Ar1	Ma1	Sa1	Sar2
0,3333	0,1246	0,1782	0,2822
s.e. 0,1560	0,1554	0,0818	0,0910

Sigma² = 10,04: log likelihood = -336,39

AIC=682,77 AICc=683,25 BIC=697,15

Medidas de erro do conjunto de treinamento 1 - Conjunto de Treinamento 2:

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
0,009045995	3,107336	1,554096	0,6075566	7,452493	0,1557353	0,004169818

Para os valores de ARIMA: (0,2,1) (2,0,0)[12]

Coefficientes:

Ma1	Sar1	Sar2
-0,5339	0,2215	0,2969
s.e. 0,2216	0,0837	0,0943

Sigma² = 12,7: log likelihood = -350,05

AIC=708,09 AICc=708,41 BIC=719,56

Medidas de erro do conjunto de treinamento 1 - Conjunto de treinamento 2

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
-0,009420669	3,495441	1,913615	1,076254	8,950319	0,1917626	0,1649993

Para os valores de ARIMA (1,0,2) (2,0,0) [12] com a Média diferente de zero para Coremas:

Coefficientes:

Ar1	Ma1	Ma2	Sar1	Sar2	Mean
0,9393	0,5023	0,2441	0,1822	0,2690	34,7207
s.e. 0,0284	0,0898	0,0919	0,0826	0,0907	11,5634

Sigma² = 9,757: log likelihood = -337,76

AIC=689,52 AICc=690,43 BIC=709,7

Medidas de erro do conjunto de treinamento - Conjunto de treinamento

Me	Rmse	Mae	Mpe	Mape	Mase	Acf1
-0,09277921	3,051751	1,612087	-3,151996	8,995099	0,1615466	-0,0008228114

A figura 24 a seguir demonstra o gráfico do perfil de série decenal anual de séries estacionária e não estacionária do volume da barragem de Mãe d'Água, em conformidade com os dados de medição da AESA, no período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2023.

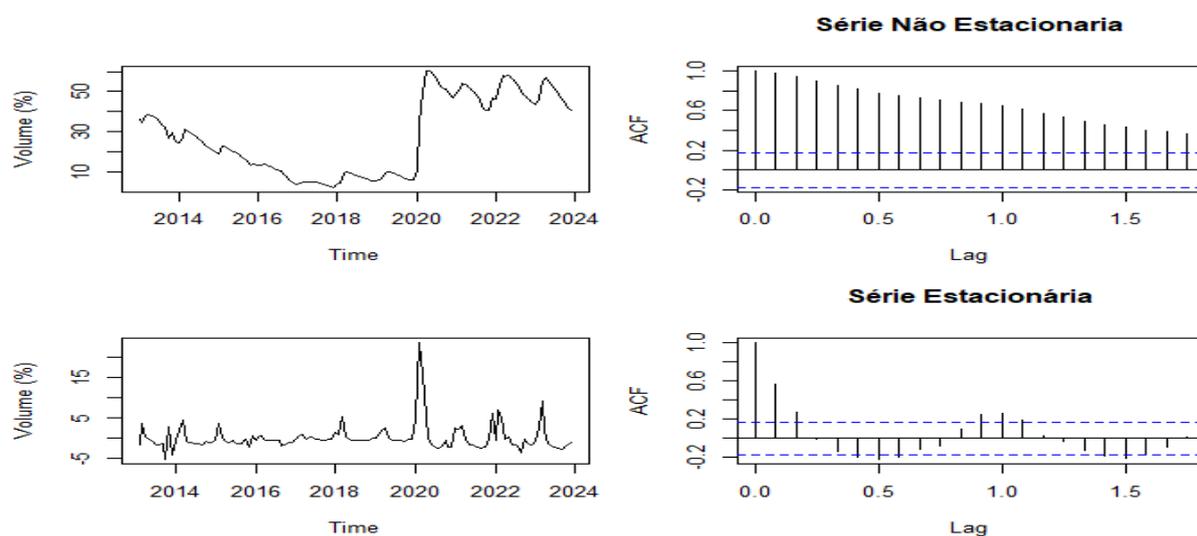


Figura 24: Perfil de Séries estacionária e não estacionária do volume hídrico, em %, da barragem de Mãe D`água entre 2013 a 2023. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

No gráfico acima, podemos identificar que, por meio dos testes de modelagem estatística de séries de Dick-Fuller e Mann Kendall, que estabelecem as séries estacionárias e não estacionárias, os perfis de séries dos volumes, em %, das cotas do volume da barragem de Mãe D`água, durante período de 10 anos (janeiro de 2013 a dezembro de 2023).

Vislumbramos ainda que as curvas de intensidade nas séries não-estacionárias propiciam uma queda brusca nos níveis da barragem de Mãe D`Água entre 2014 e 2018, período considerado o mais crítico da série histórica desde da inauguração do manancial, quando ficou abaixo dos 3%, tornando necessário a utilização da reserva técnica em meados de 2017; está estiagem, ocorrida devido às consequências do El niño, foi identificada como a maior dos últimos cem anos da região Nordeste, desencadeando um colapso no abastecimento e demandando uma sistemática de racionamento no complexo hídrico Coremas Mãe d'Água, responsável pelo abastecimento de 122 municípios, dos quais 117 situam-se na Paraíba e 5 no Rio Grande do Norte.

Outro fator comparativo que podemos abordar sobre os perfis de séries da barragem de Mãe D`água foi a recuperação dos níveis crescentes a partir de 2020, um episódio significativo para o volume da barragem de Coremas entre os anos de 2020 e 2023, apresentando médias

superiores a 45% do volume durante o período de La niña que, atualmente, tem uma regularidade nos níveis de chuvas nas cabeceiras no Rio Piancó.

Numa melhor análise técnica dos gráficos dos perfis de série da barragem de Mãe D'água, visualizamos que as estacionariedades e não estacionariedades estão interligadas aos modelos estatísticos que definem o Teste de Mann-Kendall para “verificar tendência na série temporal, sob uma hipótese, porém devemos entender que amostragem da série é independente e identicamente distribuída”, de acordo com “observações da série que possui tendência monotônica estacionária ao longo do tempo”.

O teste de Dickey Fuller é determinado quando não se rejeita a hipótese nula de não-estacionariedade, ou seja, a série não é estacionária. O perfil de série da barragem de Mãe D'água é identificado como teste estacionário, porém o argumento do teste citado sob os valores do Dickey-Fuller = -2.1154, Lag order = 5, p-value =0.5285, sob a hipótese estacionária, e o valores de Man-Kendall: tau = 0.157, 2-sided p value = 0.0078231.

Sendo assim, os valores de ARIMA da barragem de Mãe D`água *p.d.q* (0,1,2) (2,0,0) [12]

Coefficients:

Ma1	Ma2	Sar1	Sar2
0,4885	0,3547	0,1513	0,2171
<i>S.E</i> 0,0830	0,0865	0,0889	0,0921

$\text{Sigma}^2 = 7,074$: log likelihood = -313,01

AIC=636,01 AICc=636,49 BIC=650,39

Medidas de erro do conjunto de treinamento

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0,007195103	2,608844	1,42134	0,3043405	6,392467	0,1542866

Conjunto de Treinamento: ACF1 0,01569964

Para os valores de ARIMA (1,2,2) (2,0,0) [12]

Coefficientes:

R1	Ma1	Ma2	Sar1	Sar2
0,5322	-1,0199	0,0199	0,1609	0,2150
<i>s.e</i> 0,1220	0,1350	0,1331	0,0901	0,0931

$\text{Sigma}^2 = 7,416$: log likelihood = -314,45

AIC=640,89 AICc=641,58 BIC=658,1

Medidas de erro do conjunto de treinamento: 1

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0,12735	2,650087	1,408274	1,603078	6,278425	0,1528683

Conjunto de treinamento:

ACF1: -0,00721351

Para os valores de ARIMA: (1,1,1) (2,0,0) [12]

Coefficientes:

Ar1	Ma 1	Sa 1	Sar2
0,5139	-0,0080	0,1519	0,2073
<i>s.e</i> 0,1217	0,1331	0,0895	0,0926

$\text{Sigma}^2 = 7,307$: log likelihood = -315,02

AIC=640,03 AICc=640,51 BIC=654,41

Medidas de erro do Conjunto de Treinamento 1**Conjunto de treinamento 2**

Me	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0,005126053	2,651415	1,437906	0,332607	6,344723	0,1560848

Conjunto de Treinamento: ACF1: -0,002052727

Para os valores de ARIMA (0,2,1) (2,0,0) [12]

Coefficientes:

Ma1	Sar1	Sar2
-0,3428	0,1839	0,2174
<i>s.e</i> 0,1214	0,0901	0,0924

$\text{Sigma}^2 = 8,897$: log likelihood = -326

AIC=660 AICc=660,32 BIC=671,47

Medidas do erro do conjunto de Treinamento 1**Conjunto de treinamento 2**

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MA SE
----	------	-----	-----	------	-------

-0,01114523	2,925693	1,568903	0,6857167	6,896482	0,1703047
-------------	----------	----------	-----------	----------	-----------

Conjunto de Treinamento: ACF1: 0,04484604

Para valores de ARIMA (1,0,2) (2,0,0) [12], em Mãe D`água, com média diferente de zero.

Coefficientes:

Ar1	Ma1	Ma2	Sar2	Sar2	Mean
0,9505	0,5010	0,3696	0,1592	0,2128	32,2347
s.e 0,0244	0,0824	0,0868	0,0895	0,0914	11,2323

$\text{Sigma}^2 = 6,997$: log likelihood = -315,59

AIC=645,17 AICc=646,07 BIC=665,35

Medidas de Erro do Conjunto de Treinamento 1

Conjunto de Treinamento 2

Me	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
-0,05103447	2,584454	1,444518	-2,392601	7,630429	0,1568026

Conjunto de Treinamento: CF1: 0,02953323

Na figura 25 temos o gráfico do perfil de série anual, estacionária e não estacionária, do volume da barragem Engenheiro Ávidos, segundo dados de medição da AESA, entre o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2023.

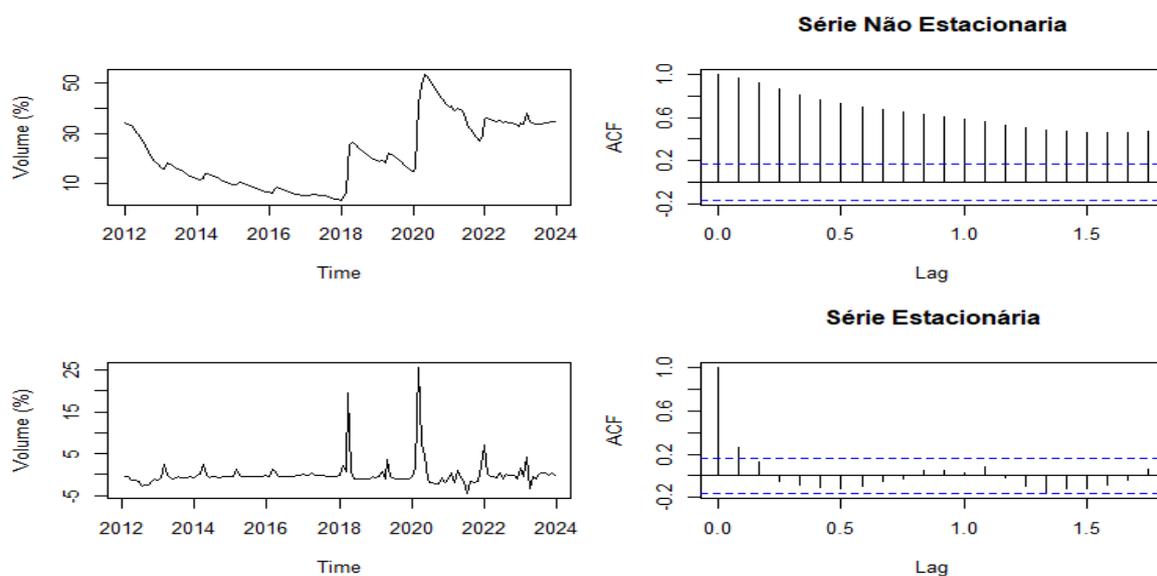


Figura 25: Perfil de séries estacionária e não estacionária do volume hídrico, em %, da barragem Engenheiro Ávidos entre 2012 e 2023. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

No gráfico, podemos observar a descrição dos perfis de séries dos volumes, em %, das cotas do volume da barragem Engenheiro Ávidos, as quais podemos determinar através dos testes de modelagem estatística de Dick-Fuller e Mann Kendall, que determinam as séries estacionárias e não Estacionárias, durante período de 11 anos, entre janeiro de 2012 e dezembro de 2023.

Além disso, cabe destacar as curvas de intensidade das séries não-estacionárias de queda brusca nos níveis do volume da barragem Engenheiro Ávidos, entre 2013 e 2018, período tido como o mais crítico da série histórica desde da inauguração do manancial, quando o mesmo ficou abaixo dos 2,5%, fazendo-se necessário o uso da reserva técnica, em dezembro de 2018, resquícios dos fenômenos el niño, marcando a maior estiagem dos cem anos da região do Alto Sertão paraibano. Tais peculiaridades desencadearam um colapso no abastecimento, demandando o racionamento de água nos municípios da região metropolitana de Cajazeiras, atendida pelo manancial.

Em contrapartida, o ano de 2019 trouxe uma recuperação dos níveis de água do manancial pois, quando ele estava próximo dos 2,5%, atingiu 30% no segundo semestre do ano mencionado, uma rápida recuperação de mais 27% do volume da barragem, cujas perdas hídricas vinham se repetindo devido aos efeitos climáticos provocados tanto pelo el niño quanto pelas taxas de evapotranspiração na região do alto curso do Rio Piranhas desde de 2012. Outro fator que contribuiu para essa retomada dos níveis hídricos foi, além das chuvas significativas e regulares nas cabeceiras do alto curso do Rio Piranhas, em 2020, a chegada das águas do eixo norte da Transposição do Rio São Francisco, em janeiro de 2022, quando as cotas da barragem chegaram ao patamar de 40%.

Na análise técnica dos gráficos dos perfis de série da Barragem de Engenheiro Ávidos devemos observar que as estacionariedades e não estacionariedades estão interligadas aos modelos estatísticos que definem o Teste de Mann-Kendall para “verificar tendência na série temporal, sob uma hipótese, porém devemos entender que a amostragem da série é independente e, identicamente, distribuída”, conforme as “observações da série que possuem tendência monotônica estacionaria ao longo do tempo”. Além disso, a função do teste de Dickey Fuller é determinada quando não se rejeita a hipótese nula de não-estacionariedade, ou seja, a série não é estacionária.

O perfil de série da barragem de Engenheiro Ávidos é classificado como teste estacionário, com valores do teste de Dickey- fuller aumentado = -2.8723, Lag order = 5, p-value= 0.2132., e os valores para o teste de MannKendal: tau = 0.233, 2-sided pvalue <0.0001.

Os valores de ARIMA da Barragem de Engenheiro Ávidos p.d.q (1,1,0) (1,0,0) [12]

Coefficientes:

Ar1	Sar1
0,2630	-0,0051
<i>s.e</i> 0,0809	0,0828

$\text{Sigma}^2 = 8,961$: log likelihood = -358,73

AIC=723,46 AICc=723,64 BIC=732,35

Medidas de erro do Conjunto de Treinamento 1:

Conjunto de Treinamento 2:

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0,002050902	2,962221	1,187314	-0,6314321	5,510604	0,1479435

Conjunto de Treinamento: ACF1: -0,01623335

Para valores de ARIMA: (1,1,1) (1,0,0) [12]

Coefficiente:

Ar1	Ma 1	Sar 1
0,3856	-0,1292	-0,0033
<i>s.e</i> 0,2057	0,2139	0,0828

$\text{Sigma}^2 = 9,004$: log likelihood = -358,56

AIC=725,12 AICc=725,41 BIC=736,97

Medidas de erro do conjunto de treinamento1:

Conjunto de treinamento 2:

Me	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0,002081172	2,958623	1,180427	-0,5789512	5,47263	0,1470853

Conjunto de Treinamento ACF1: -0,005003996

Para os valores de ARIMA (1,2,1) (1,0,0) [12]

Coefficiente:

ar1	Ma 1	Sar 1
0,2721	-1,0000	0,0001
<i>s.e</i> 0,0817	0,0437	0,0834

$\text{Sigma}^2 = 9,091$: log likelihood = -358,9

AIC=725,79 AICc=726,08 BIC=737,62

Medidas de erro no Conjunto de Treinamento 1:**Conjunto de treinamento 2:**

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF 1
0,2828062	2,962344	1,093352	2,180022	4,973583	0,1362355	-0,03501842

Para valores de ARIMA de (0,1,2) (1,0,0) [12]

Coefficientes:

ma 1	Ma 2	Sar 1
0,2554	0,1717	-0,0135
<i>s.e</i> 0,0827	0,0839	0,0831

$\text{Sigma}^2 = 8,9$: log likelihood = -357,75

AIC=723,49 AICc=723,78 BIC=735,34

Medidas de erro no Conjunto de Treinamento 1:**Conjunto de treinamento 2:**

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0,002080863	2,941486	1,150701	-0,5779243	5,410613	0,1433814

Conjunto de treinamento: ACF1: -0,0007801773

Para valores de ARIMA (1,2,0) (1,0,0) [12]

Coefficiente:

Ar 1	Sar 1
------	-------

-0,4070	-0,0134
s.e 0,0765	0,0823

$\text{Sigma}^2 = 11,86$: log likelihood = -376,15

AIC=758,3 AICc=758,48 BIC=767,17

Medidas de erro no Conjunto de Treinamento 1:

Conjunto de treinamento 2:

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0,002838185	3,395232	1,379392	0,4717133	5,8204473	0,1718772

Conjunto de Treinamento: ACF1: -0,06638029

Na figura 26: demonstra o gráfico do Perfil de série anual, estacionária e não estacionária do volume da barragem de Epitácio Pessoa, segundo dados de medição da AESA, no período correspondente entre janeiro de 2012 a dezembro de 2023.

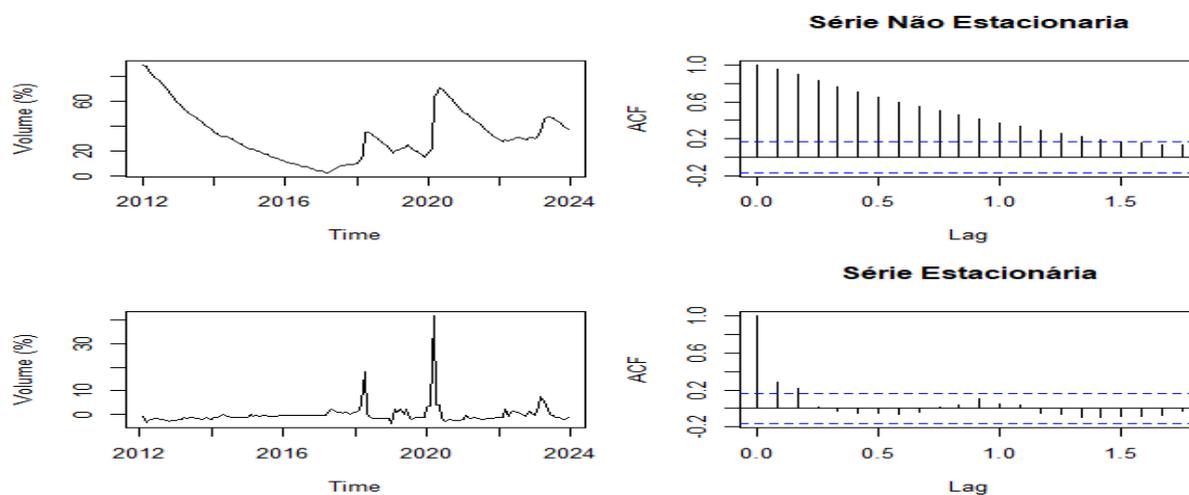


Figura 26: Perfil de séries estacionária e não estacionária do volume hídrico, em %, da barragem Epitácio Pessoa entre 2012 e 2023. Fonte: AESA, 2024. Elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Observando a ilustração acima, podemos identificar a descrição dos gráficos de perfis de séries dos volumes, em %, das cotas do volume da barragem Epitácio Pessoa, o qual podemos determinar por meio dos testes de modelagem estatística de séries de Dick-Fuller e Mann Kendall, os quais determinam as séries estacionárias e não estacionárias, no período de 11 anos, entre janeiro de 2012 e dezembro de 2023. Além disso, notamos também as curvas de

intensidade das séries não-estacionárias de queda brusca nos níveis da barragem Epitácio Pessoa, entre 2012 a 2017, quando, a princípio, o manancial possuía 86% do volume, reduzindo drasticamente para 2,13% em abril de 2017, quando foi utilizada a reserva técnica do açude e o período foi considerado o mais crítico da série histórica desde a sua inauguração, em 1957. Nestas circunstâncias, o Agreste paraibano enfrenta também a maior estiagem dos últimos cem anos, colapsando o abastecimento local no final de 2014 e resultando na prática de racionamento, proposto pela Cagepa aos 19 municípios supridos pelo manancial, o que representava cerca de 1,8 milhão de pessoas atendidas na região imediata de Campina Grande - PB.

Um dos fatores observados nos perfis de séries estacionárias e não estacionárias da barragem Epitácio Pessoa, foi a crescente recuperação dos níveis de cotas do volume no manancial no primeiro semestre de 2018, quando o manancial estava próximo aos 10% e, no segundo semestre de 2019 chega a 25%, configurando-se como uma rápida recuperação de 15% do volume de água da barragem, no intervalo de menos de dois anos, o que se deve à chegada das águas do projeto de Transposição do Rio São Francisco ao manancial, que vinha de um histórico de perdas hídrica significativas devido aos efeitos das fortes estiagens, provocadas pelo fenômeno el niño e pelas altas taxas de evapotranspiração na região do alto e médios cursos do Rio Paraíba desde de 2012.

Esta chegada das águas do eixo leste da transposição do Rio São Francisco, em abril de 2017, associada às chuvas intensas nas cabeceiras do alto curso do Rio Paraíba, logo quando as cotas do volume da barragem chegaram ao patamar crítico de 2,13%, trouxe ao manancial um aumento significativo de cerca de 58% no intervalo de 4 anos, deixando-o com 60% da sua capacidade atingida.

Partindo para as análises técnicas dos gráficos dos perfis de série da barragem Epitácio Pessoa, devemos observar que a estacionariedade e não estacionariedade estão interligadas aos modelos estatísticos que definem o Teste de Mann-Kendall para “verificar tendência na série temporal, sob uma hipótese, porém devemos entender que a amostragem da série é independente e, identicamente, distribuída”, de acordo com as “observações da série que possuem tendência monotônica estacionaria ao longo do tempo”. Assim, a função do teste de Dickey Fuller é determinada quando não se recusa a hipótese nula de não-estacionariedade, ou seja, a série não é estacionária.

O perfil de série da barragem de Epitácio Pessoa é classificado como teste estacionário, com valores do teste de Dickey- fuller aumentado = -2.6581, Lag order = 5, p-value = 0.3024

definido como valor de hipótese alternativa estacionária, para teste de Mann Kendall os valores são: $\tau = -0.0539$, 2-sided p value = 0.33862.

Os valores de ARIMA da Barragem Epitácio Pessoa p.d.q (0,1,2) (1,0,0) [12]

Coefficientes:

Ma1	Ma2	Sar1
0,2459	0,2302	0,0243
s.e 0,0812	0,0809	0,0829

$\Sigma^2 = 16,57$: log likelihood = -402,23

AIC=812,47 AICc=812,76 BIC=824,32

Medidas de erro do conjunto de treinamento 1

Conjunto de Erro de treinamento 2

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
-0,2378536	4,014283	1,655624	-0,680662	5,624974	0,1004003	0,0068483

Para valores de ARIMA de (1,1,1) (1,0,0) [12]

Coefficiente:

ar1	ma1	sa1
0,5416	-0,2701	0,0208
s.e 0,1698	0,1879	0,0830

$\Sigma^2 = 16,84$: log likelihood = -403,37

AIC=814,73 AICc=815,02 BIC=826,58

Medidas de erro no Conjunto de Treinamento 1:

Conjunto de treinamento 2:

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
-0,2239196	4,046784	1,646246	-0,5791894	5,55298	0,0998316	-0,0211491

Para os valores de ARIMA: (1,1,2) (1,0,0) [12]

Coefficiente:

ar 1	ma 1	Ma 2	Sar 1
0,1481	0,1063	0,2030	0,0232
<i>s.e</i> 0,3333	0,3261	0,1099	0,0828

$\text{Sigma}^2 = 16,67$: log likelihood = -402,14

AIC=814,28 AICc=814,72 BIC=829,09

Medidas de erro no Conjunto de Treinamento 1:**Conjunto de treinamento 2:**

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
-0,2292834	4,011582	1,63363	-0,6269263	5,532608	0,09906658	-0,001206744

Para valores de ARIMA (1,2,1) (1,0,0) [12]

Coefficiente:

ar 1	ma 1	sar 1
0,2734	-0,9752	0,0087
<i>s.e</i> 0,0850	0,0268	0,0832

$\text{Sigma}^2 = 17,28$: log likelihood = -403,52

AIC=815,05 AICc=815,34 BIC=826,87

Medidas de erro no Conjunto de Treinamento**Conjunto de treinamento**

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
0,3764753	4,084241	1,590852	3,057997	6,296199	0,09647243	-0,05185625

Para valores de ARIMA: (0,1,1) (1,0,0) [12]

Coefficiente:

ma 1	sar 1
0,2120	0,0198

<i>s.e</i> 0,0687	0,0833
-------------------	--------

$\text{Sigma}^2 = 17,36$: log likelihood = -405,99

AIC=817,99 AICc=818,16 BIC=826,87

Medidas de erro no Conjunto de Treinamento

Conjunto de treinamento

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
-0,2890793	4,122727	1,814362	-0,9968476	6,212181	0,1100265	0,04400753

Na figura 27, temos a apresentação do gráfico residual de Arima da série anual, estacionária e não estacionária, de acordo com o modelo de auto correlação do volume da barragem de Coremas (ACF1), segundo dados de medição da AESA, correspondente ao período de janeiro de 2013 a dezembro de 2023.

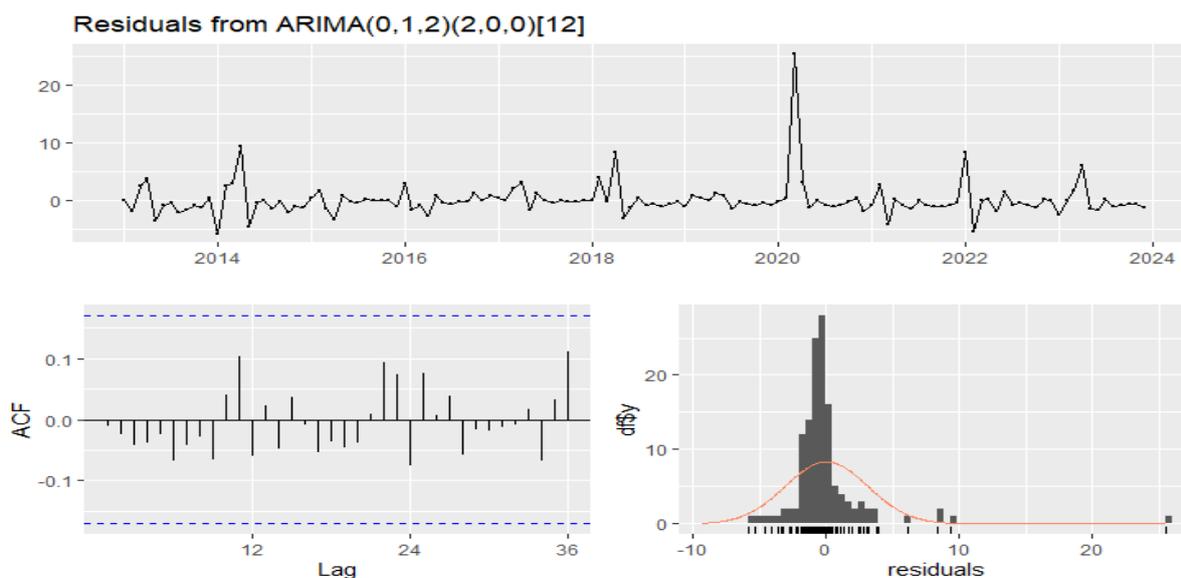


Figura 27: Gráfico de modelo residual de Arima para valores p.d.q (0,1,2) (2,0,0), da barragem de Coremas no período da série temporal de 2013 a 2023. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024)

No gráfico verificamos os valores de residuais atribuídos à barragem de Coremas, determinados pela função de auto correlação do Modelo de Arima; os valores de p.d.q são definidos por (0,1,2) (2,0,0), modelo que facilita a inter-relação dos números levantados durante a série temporal destacada; observamos ainda que o nivelamento hídrico da barragem de Coremas apresenta um comportamento de forte incidência climática, ocasionado pelo fenômeno el niño, entre 2013 e 2018.

Desse modo, considerando a estacionariedade no espaço temporal definido pelo modelo estatístico de Mann Kendell, por meio de análises de séries mensais e anuais onde a variável dos volume de água nos primeiros sete primeiros anos ficou estacionária, o gráfico demonstra valores de residual ACF (função de auto correlação) que representam as inspeções gráficas de defasagens dos valores do volume hídrico de Coremas, o que, associado às interfaces climáticas ambientais, contribuiu diretamente para o colapso hídrico de Coremas entre 2017 e 2018.

Sequencialmente, na figura 28, apresentamos o gráfico residual de Arima da série anual, estacionária e não estacionária de acordo com modelo de auto correlação do volume da barragem Mãe D`água, conforme os dados de medição da AESA, no intervalo de tempo de janeiro de 2013 a dezembro de 2023.

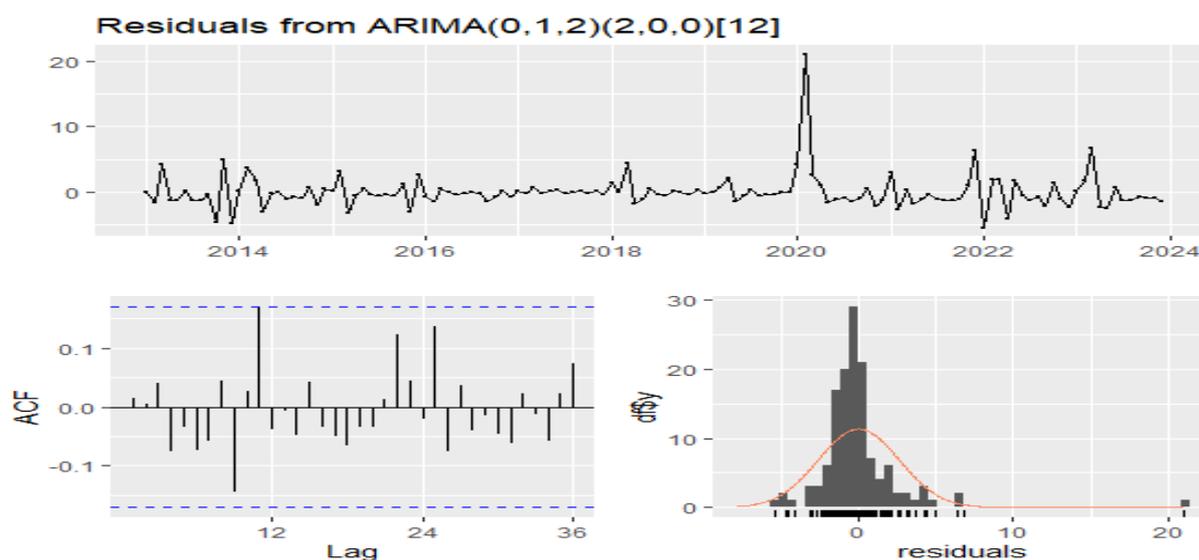


Figura 28: gráfico de modelo residual de Arima para valores p.d.q (0,1,2) (2,0,0), da barragem Mãe D`água, no período da série temporal entre 2013 e 2023. Fonte: AESA, 2024 elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

A leitura da imagem acima nos permite aferir que os valores residuais da barragem Mãe D`água se assemelham aos da de Coremas, tendo em vista que fazem parte de um complexo hídrico, além disso, o modelo e valores de p.d.q da função de auto correlação do Modelo de Arima, são, igualmente definidos por (0,1,2) (2,0,0), modelo que facilita a inter-relação dos números levantados durante a série temporal, quando podemos observar que os níveis de volumes da cota hídrica da barragem Mãe D`água apresentam um comportamento semelhante ao de Coremas, no período de forte incidência climática determinadas pelo fenômeno el niño entre 2013 a 2018.

Vale ressaltar que os gráficos mais recentes demonstram as estabilidades das cotas hídricas pós 2020, situação que ocorreu devido à regularidade hídrica pluviométrica, considerando uma estacionariedade em série temporal, definidos pelo modelo estático de Mann Kendell que, utilizado nas análises de séries mensais e anuais demonstra que a variável dos volumes de água, nos sete primeiros anos, ficou estacionária porém, o valores de residual ACF (função de auto correlação) que representam as inspeções gráficas de defasagens dos valores do volumes.

No gráfico da figura 29 ilustramos o residual de Arima da série anual, estacionária e não estacionária, de acordo com modelo de auto correlação do volume da barragem Engenheiro Ávidos (ACF) em conformidade com dados de medição da AESA, no período entre janeiro de 2012 e dezembro de 2023.

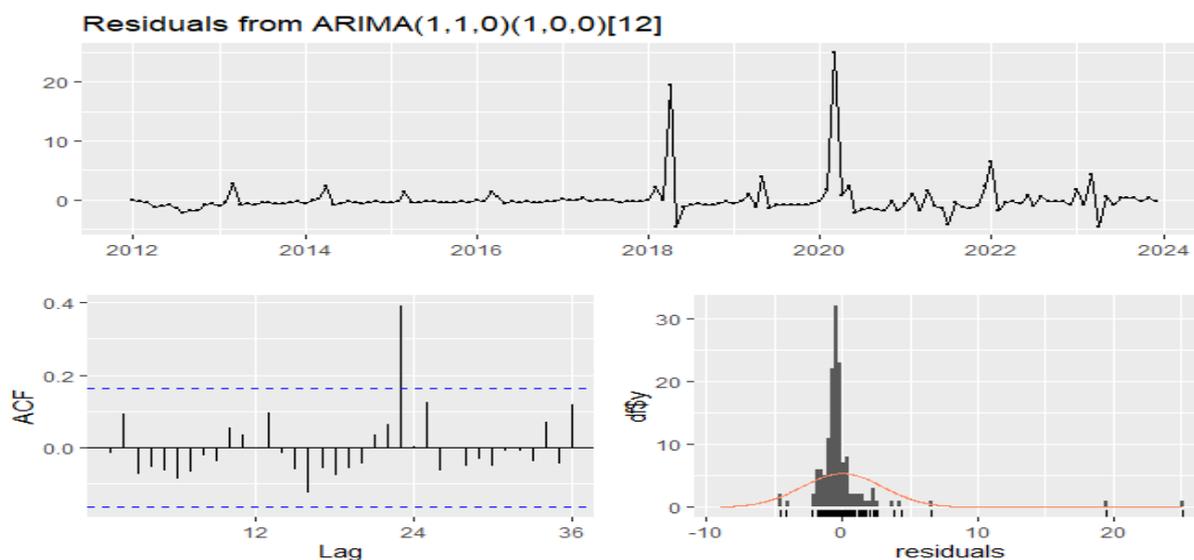


Figura 29: gráfico de modelo Residual de Arima para valores p.d.q (1,1,0) (1,0,0), da barragem Engenheiro Ávidos, no período da série temporal entre 2012 e 2023. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Nesse cenário, podemos analisar que os aspectos residuais de Arima da barragem Engenheiro Ávidos são determinados pelas função de auto correlação de modelagem de Arima que é definido pelos valores de p.d.q (1,1,0) (1,0,0), os quais determinaram os valores para viabilizar a inter-relação dos valores atribuídos pela série temporal de onze anos, decorridos no volume hídrico da barragem mencionada, evidenciando um comportamento marcado por forte incidência climática ocasionada pelo fenômeno el niño, entre 2012 a 2018, levando em conta uma estacionariedade em série temporal definida pelo modelo estático de Mann Kendell.

Considerando os dados elencados no gráfico, através das análises de séries mensais e anuais, a variável dos volume de água, nos seis primeiros anos, ficou estacionária sequencialmente, porém os números demonstram que os valores de residual ACF (função de auto correlação) representam as inspeções gráficas de defasagens dos valores dos volumes mais altos, em lag 24, reforçando um aumento exponencial nos volumes hídricos após o ano 2020 e depois da chegada das águas da Transposição do eixo norte do Rio São Francisco na barragem de Engenheiro Ávidos em 2022.

Na figura 30 trazemos o gráfico residual de Arima da série anual, estacionária e não estacionária, de acordo com modelo de auto correlação do volume da barragem Epitácio Pessoa, segundo dados de medição da AESA, no período correspondente entre janeiro de 2012 e dezembro de 2023.

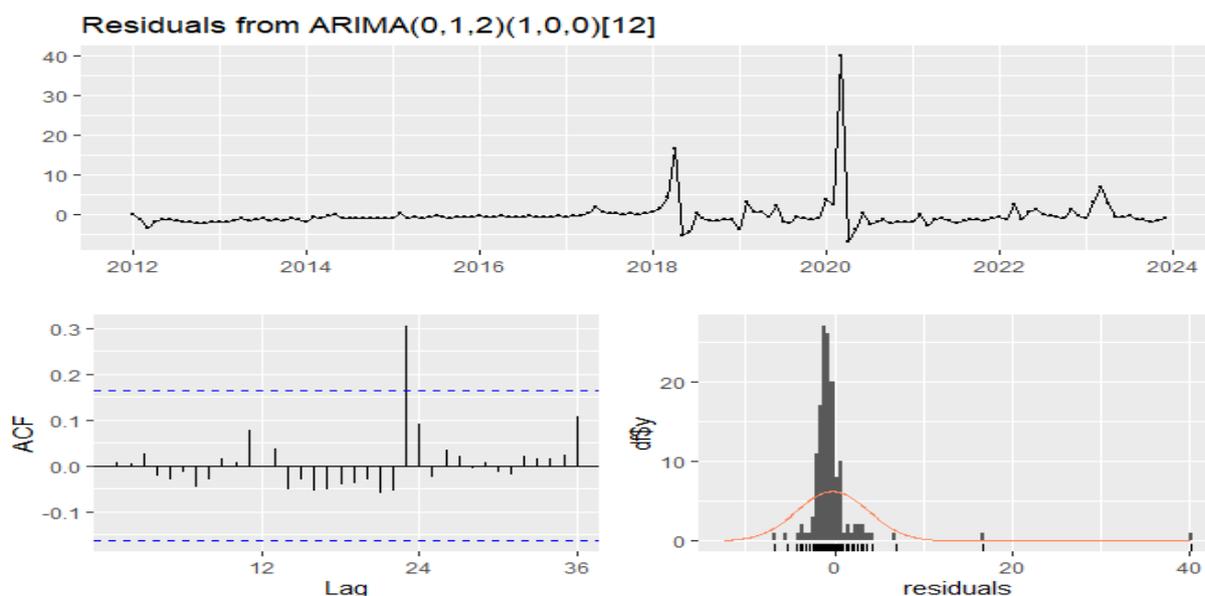


Figura 30: gráfico de modelo residual de Arima para valores p.d.q (0,1,2) (1,0,0), da barragem Epitácio Pessoa, no período da série temporal entre 2012 e 2023. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

O gráfico de resíduo da Barragem de Epitácio Pessoa, apresentado na figura acima, descreve aspectos do modelo residual de Arima da barragem em questão, com determinações das função de auto correlação de modelagem de Arima, definida pelos valores de p.d.q (0,1,2) (1,0,0), que facilitam as inter-relações dos valores definidos pela série temporal de onze anos, demonstrando o comportamento durante o período de forte variância climática e meteorológica decorrentes do fenômeno el niño entre 2012 a 2018.

Nesse aspecto, tomando por base uma estacionariedade entre 2012 a 2017, na série temporal definida pelo modelo estático de Mann Kendell, analisamos as séries mensais e

anuais, nas quais a variável dos volume de água, nos seis primeiros anos, ficou estacionária sequencialmente, entretanto, o gráfico ilustra que os valores de residual ACF (Função de auto correlação) representam as inspeções gráficas de defasagens dos valores dos volumes mais altos, em lag 24, reforçando um aumento exponencial nos volumes hídricos depois do ano de 2020; contudo, outro fator relevante para esse aumento foi a chegada das águas da Transposição do eixo leste do Rio São Francisco na barragem Epitácio Pessoa, em Boqueirão, em abril de 2017.

O gráfico 31 demonstra a previsão futura da barragem de Coremas, através do modelo de Arima da série anual anterior e futura do volume do manancial, baseado em dados de medição da AESA, realizando uma projeção futura, correspondente ao ano de 2025.

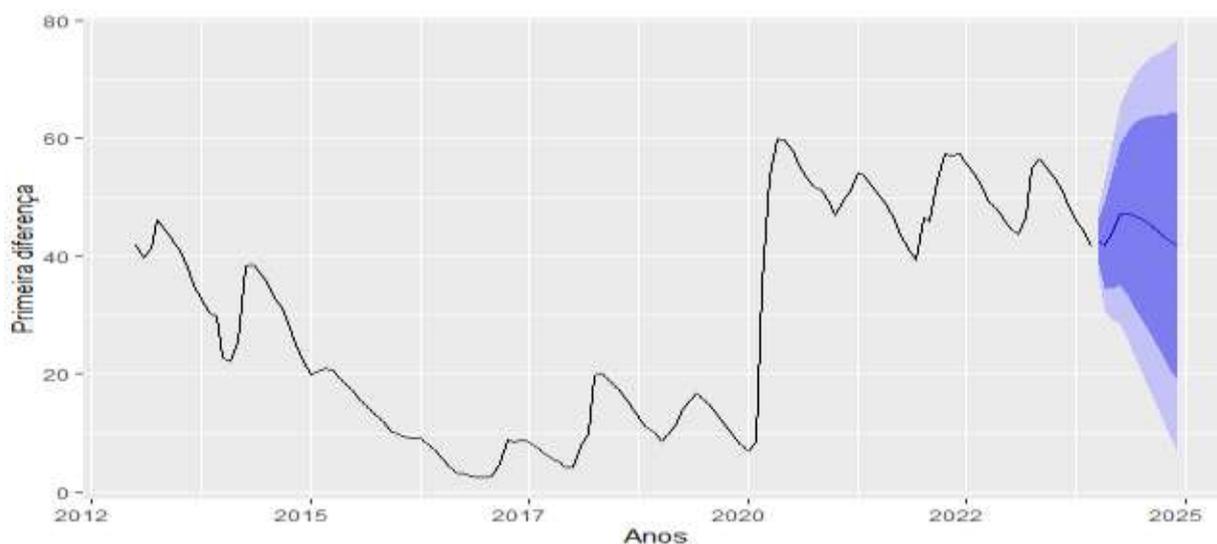


Figura 31: gráfico de variação temporal de previsão para o volume, em %, da barragem de Coremas para o período de 2025 em Coremas (PB). Fonte: AESA, 2024. Elaborado pelo Autor (GOMES, 2024).

Através do gráfico, podemos aferir que a tendência para o ano de 2025, na barragem de Coremas, é uma ligeira queda de 5% do volume hídrico para o ano subsequente; a primeira diferença explica essa previsão de queda no volume de Coremas, variando entre 45 a 40% do volume do açude.

Por meio do método de Sarima, que definiu o método de previsão através de variáveis climáticas, pode-se analisar vários elos de relação climática e meteorológica entre elas, o el niño e la niña, a exemplo da evotranspiração, precipitação pluviométricas e temperatura de umidade relativa do ar da região que, por sua vez, influencia diretamente na perda significativa de água para o ambiente no tempo estimado em uma medição futura, a qual respalda as correlações existentes, servindo como parâmetros de variância do volume hídrico do manancial

de Coremas para o ano de 2025. Além disso, é argumentado também que, por meio do método de Sarima a previsão de volume futura de Coremas é associada às relações de efeitos das mudanças climáticas na faixa de previsão de volume estudada.

A figura 32 demonstra o gráfico de comportamento de previsão do volume da barragem de Mãe D'água, com o uso do modelo de Arima da série anual anterior e futura do volume desta barragem, segundo dados de medição da AESA, com destaque futuro no período correspondente ao ano de 2025.

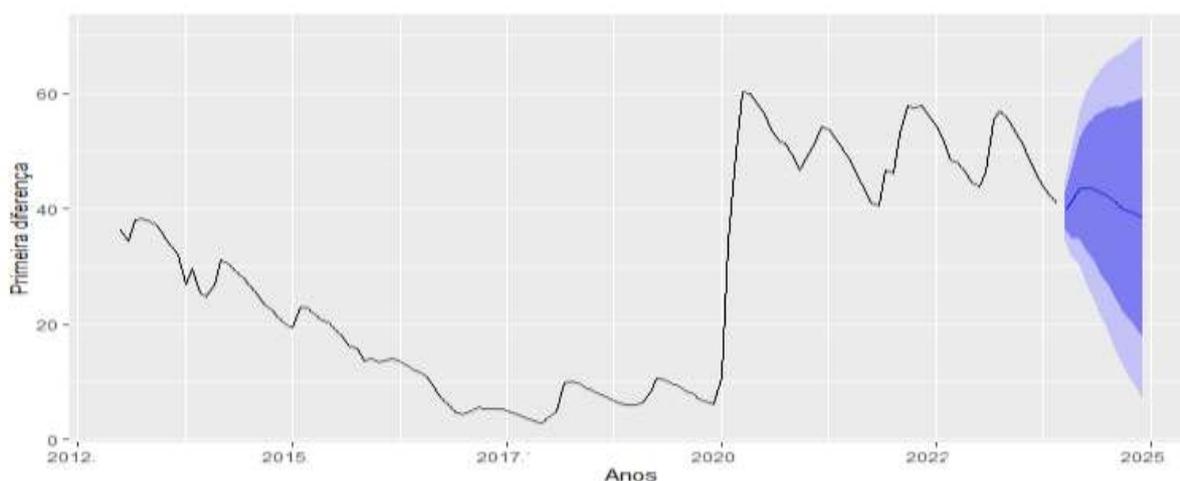


Figura 32: gráfico de variação temporal de previsão para o volume, em %, da barragem de Mãe D'água, para o período de 2025. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Podemos observar que o gráfico demonstra, através de previsão, a tendência de como os níveis de volume estarão no ano de 2025, diante disso, notamos que haverá uma ligeira queda de 5% no volume hídrico de Coremas, numa variação de 39 a 44% na primeira diferença, o que é explicado pelo método de Sarima, que definiu o método de previsão com a utilização de variáveis climáticas, a partir das quais se pode analisar diversos elos de relações climáticas e meteorológicas entre eles, o el niño e o la niña com a evotranspiração, precipitação pluviométrica e temperatura da umidade relativa do ar da região que, inclusive, influencia diretamente na perda significativa de água para o ambiente, no tempo estimado para uma medição futura, basilar para as correlações existentes e servindo como parâmetros de variância do volume hídrico do manancial para o ano de 2025.

Além disso também com a aplicação do método de Sarima obtém-se a previsão de volume de água da barragem de Mãe d'Água, a qual está associada às relações de efeitos das mudanças climáticas na faixa de tempo estudada.

A ilustração 33 exibe o gráfico de comportamento de previsão do volume da barragem de Engenheiro Ávidos, através do modelo de Arima da série anual anterior e futura do volume da barragem, de acordo com dados de medição da AESA, evidenciando o futuro no período correspondente à média anual do ano de 2025.

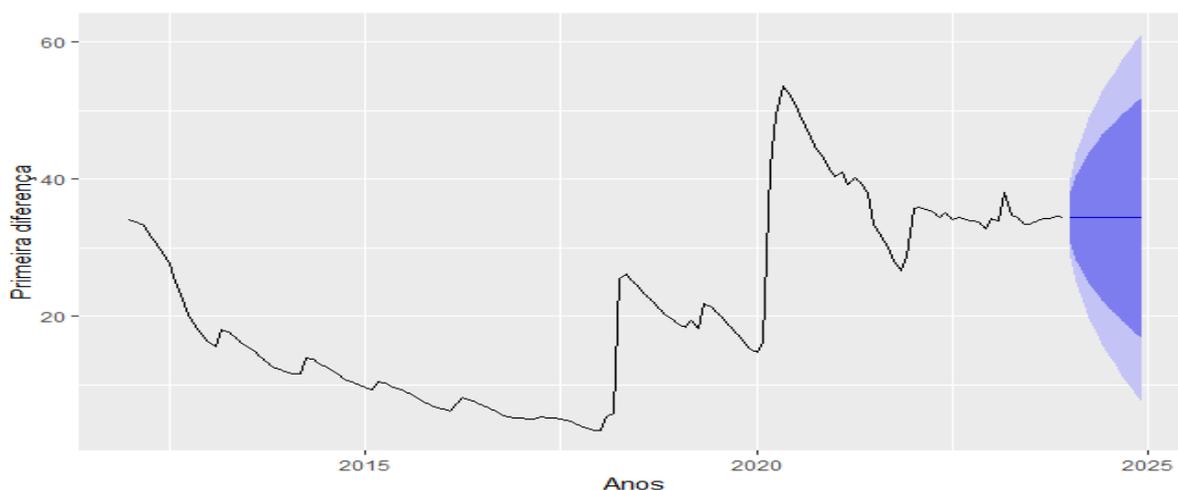


Figura 33: gráfico de variação temporal de previsão para os volumes, em %, da barragem de Engenheiro Ávidos, para o período de 2025. Fonte: AESA, 2024. elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Identificamos que a prospecção de 2025 para a barragem de Engenheiro Ávidos, resume-se a uma tendência monoica ao longo do tempo de estacionariedade do volume hídrico para o ano subsequente, como demonstrado na primeira diferença no gráfico. Essa previsão de estacionariedade homogênea média no volume estacionada em 35% no volume da barragem é explicada pelo método de Sarima, que mede a prevalência dos volumes da série temporal, através do teste de Mann Kendell, para assim, definir o nível de significância do valor admitindo uma Arima estacionaria (p -valor $< 0,05$).

Cabe destacar que é preciso considerar que o método de previsão que utilizar as variáveis climáticas e meteorológicas para exemplificar os fenômenos climáticos el niño e la niño, associando-os à evotranspiração, à precipitação pluviométrica e à temperatura da umidade relativa do ar, fatores que influenciam diretamente na redução dos níveis de água no intervalo de tempo estimado; isso funciona como base para as correlações existentes, servindo como parâmetros de variância do volume do manancial de Engenheiro Ávidos para 2025 e, além disso traz a associação das relações de efeitos das mudanças climáticas na faixa de tempo estimada nos estudos levantados.

No gráfico a seguir, figura 34, verificamos a previsão do volume da Barragem Epitácio Pessoa, estimado por meio do modelo de Arima da série anual anterior e futura, conforme dados de medição da AESA, destacando o período correspondente à média anual prevista para o ano de 2025.

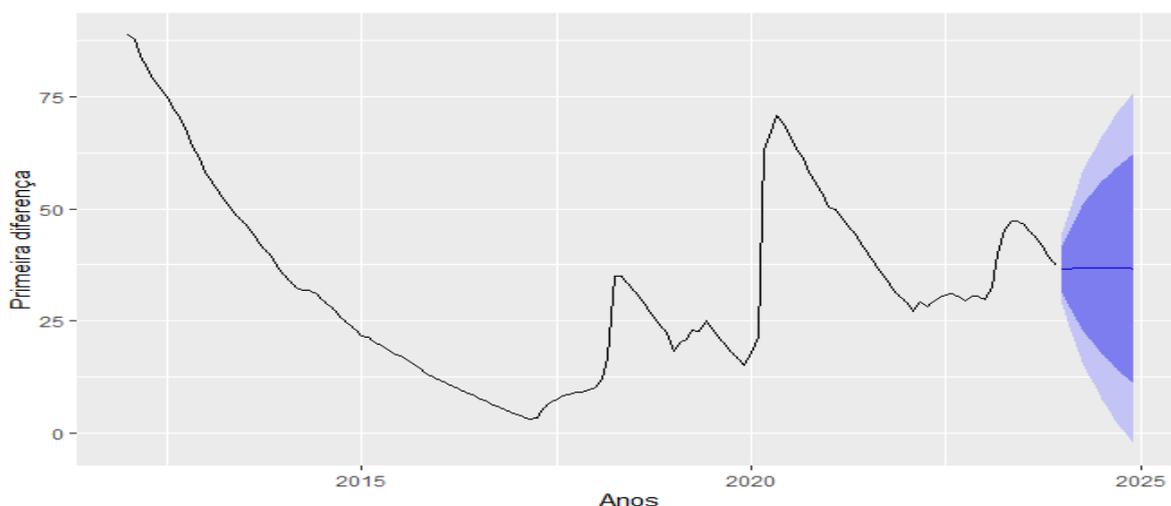


Figura 34: gráfico de variação temporal de previsão para o volume, em %, da barragem de Epitácio Pessoa para o período de 2025. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Na estimativa, verificamos que há uma tendência de declínio no volume hídrico em 2025, porém, haverá uma estacionária na média dos níveis de volume da barragem de Epitácio Pessoa, o que prevê uma tendência monoica de estacionariedade do volume hídrico para o ano subsequente, como podemos analisar na primeira diferença, presente no gráfico. O que explica esta estacionariedade homogênea em 40% no volume do manancial, é o método de Sarima, que mede a prevalência dos volumes da série temporal, através dos testes de Dicke-Fuller, o qual estipula o nível de significância em 5%, admitindo uma Arima estacionária.

Com a projeção de volume da barragem de Coremas, a figura 35 traz, a série anual da barragem, segundo o modelo de Arima, segundo informações de medição da AESA, relacionando o intervalo de 10 anos (de 2013 a 2023).

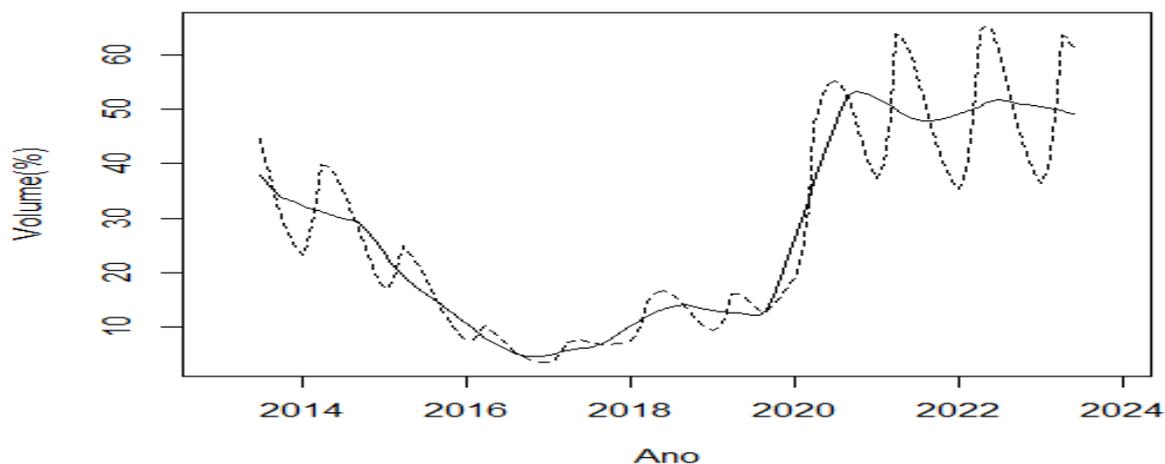


Figura 35: gráfico de tendência do volume (%), por ano, da barragem de Coremas, no período correspondente entre 2013 e 2023. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

No gráfico 35, podemos observar a tendência de volume hídrico em da barragem de Coremas entre os anos de 2013 e 2023, notando uma previsibilidade de queda significativa entre 2013 a 2017, representando mais de 40% no espaço temporal de 4 anos; porém, a partir de 2020, verificou-se um tendencial aumento do volume hídrico de Coremas, que passou de 18 % para índices entre 45 e 50%, significando 30% de elevação do volume hídrico, ocasionado por fatores climáticos e meteorológicos pontuados no período estudado.

É válido destacar ainda que os fenômenos climáticos el niño e la niña interferem direto e indiretamente nos ciclos de variações sazonais, na evapotranspiração, na precipitação pluviométrica e na temperatura da umidade relativa do ar da região, contribuindo para essa perda significativa no volume de água, por evaporação, na região da barragem do Complexo Coremas Mãe d'Água entre 2013 a 2018. No momento posterior a 2020, devido à regularidade dos índices pluviométricos na região do Sertão Paraibano, percebemos também a possibilidade de decadência no volume de Coremas, o que, segundo o Modelo de Arima (baseado no teste de tendência de série temporal sazonal anual), nos últimos 10 anos, foi avaliado pelo teste não paramétrico de Mann Kell, chegando ao nível de significância de 5% ($p\text{-valor} < 0,05$), representando uma perda do volume estimado.

Na imagem 36, apresentamos o gráfico de tendência do volume da barragem de Mãe d'Água, elaborado através do modelo de Arima da série anual e acompanhando os dados de medição da AESA, em relação ao período compreendido entre 2013 a 2023.

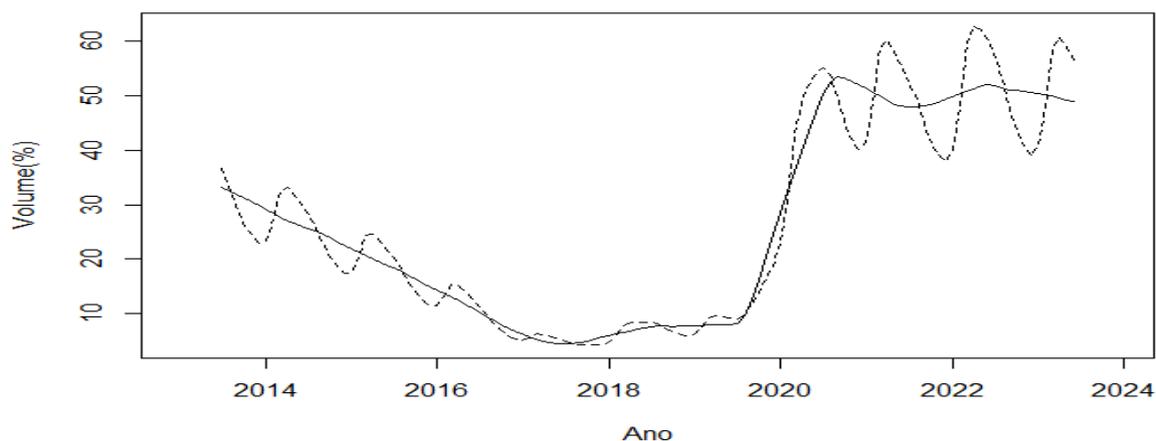


Figura 36: gráfico de tendência do volume, por ano, da barragem Mãe d'Águas, no período entre 2013 e 2023.
Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

No gráfico, observamos o volume hídrico da barragem de Mãe d'Água durante o período de dez anos (2013 a 2023), quando se percebe uma semelhança de tendência de nivelamento com a barragem de Coremas. Partindo da premissa de que ambos fazem parte do mesmo complexo hídrico, enquanto o açude de Mãe d'água teve a tendência de queda nos níveis do volume de 40% de água, no intervalo de tempo de 4 anos, houve uma tendência de aumento do volume hídrico de Coremas, a partir de 2020, de 10 % para patamares entre 45 a 50% um aumento significativo médio de 40% no volume hídrico.

Vale destacar que os fatores climáticos e meteorológicos incidentes no período estudado, como o el niño e o la niña, interferem nos ciclos de variações sazonais, contribuindo para a perda significativa do volume de água por evaporação na região da barragem do complexo Coremas - Mãe d'Água entre 2013 a 2018.

Posteriormente, mediante as regularidades dos índices pluviométricos na região sertaneja da Paraíba, foram registrados aumentos no volume hídrico, entretanto, a estimativa para 2024 é de queda de 5%, segundo o Modelo de Arima que, baseado no teste de tendência de série temporal sazonal anual, dos últimos 10 anos, avaliou, pelo teste não paramétrico de Mann Kell, o nível de significância de 5% ($p\text{-valor} < 0,05$), resultando numa perda do volume estimado.

A representação gráfica da figura 37 apresenta a tendência do volume da barragem de Engenheiro Ávidos, construída por meio do modelo de Arima da série anual e seguindo os dados de medição da AESA, em relação ao período compreendido entre 2012 a 2023.

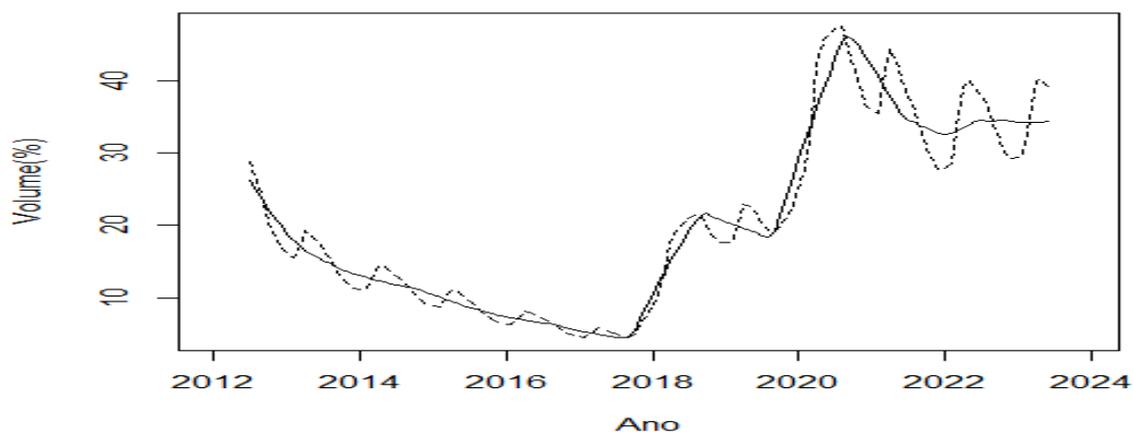


Figura 37: gráfico de tendência do volume, por ano, da barragem de Engenheiro Ávidos, no período correspondente entre 2012 e 2023. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

Nesse contexto, podemos observar a tendência do volume hídrico da barragem de Engenheiro Ávidos no período entre 2012 a 2023, no qual se observa um declínio considerável de 27,2% entre 2012 e 2017, passando de 30% a 2,8% no intervalo de cinco anos. A partir de 2018 tivemos uma recuperação expressiva, passando de 5% para 30% no ano de 2023, o que se deve aos fatores climáticos e meteorológicos (el niño e la niña) que incidem nos ciclos de variações sazonais, na evotranspiração, nas precipitações pluviométricas, como também na temperatura da umidade relativa do ar da região do Sertão paraibano, corroborando para perdas significativas do volume de água na região de Cajazeiras, entre 2012 a 2017, onde está localizada a barragem de Engenheiro Ávidos.

Analisando o aumento do volume da mencionada barragem após o ano de 2020, atribuímos tal recuperação tanto à regularidade dos índices pluviométrico quanto à chegada das águas do eixo norte no Rio São Francisco na região da bacia hidrográfica do Rio Piranhas no alto sertão paraibano. Pudemos constatar, ainda, uma tendência de estacionariedade nos níveis do volume do manancial para 2024, permanecendo na média de 30% em perdas ou aumentos significativos, assim, nos últimos onze anos, a média do volume hídrico de Engenheiro Ávidos, foi avaliada pelo teste não paramétrico de Mann Kell, ao nível de significância de 5% ($p\text{-valor} < 0,05$), representando uma média de estacionariedade do volume estimado do manancial.

A figura 38 representa o gráfico de tendência do volume da barragem Eptácio Pessoa, por meio do modelo de Arima da série anual do volume dessa barragem, segundo dados de medição da AESA, direcionados ao período decenal de 2012 a 2023.

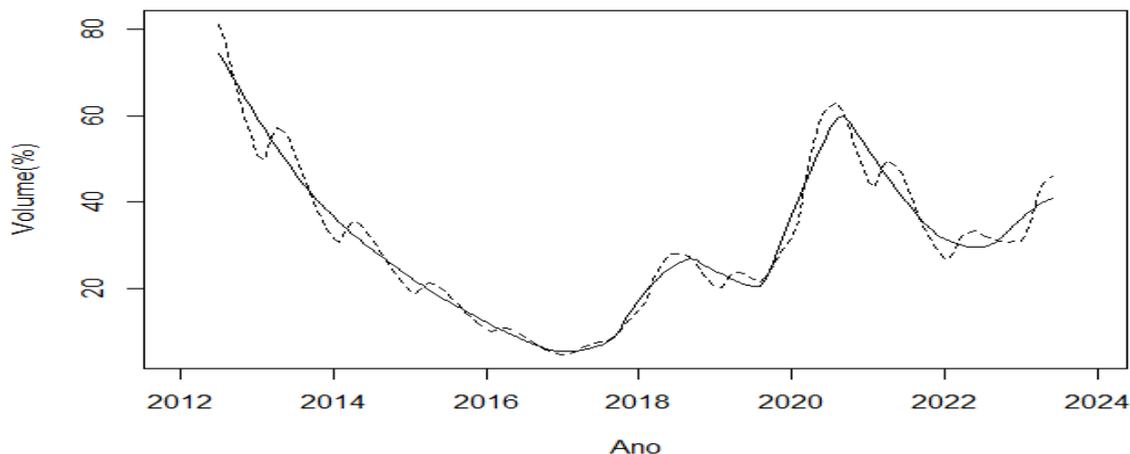


Figura 38: gráfico de tendência do volume (%) por ano barragem Epitácio Pessoa, no período correspondente entre 2012 e 2023. Fonte: AESA, 2024.elaborado pelo autor (GOMES, 2024).

No gráfico é apresentada a tendência da série temporal do volume hídrico da barragem Epitácio Pessoa no intervalo de 2012 a 2023, a partir da qual observamos um declínio assustador, até 2017, de 80% para 2,3%, representando uma perda de 77,7% do volume hídrico num intervalo de cinco anos. Após este episódio, notamos uma recuperação a partir da chegada das águas do eixo leste da Transposição do Rio São Francisco, resultando em um aumento expressivo, a partir de 2018, de 15% para 60%, uma tendência crescente de 45% no intervalo de três anos.

Diante disso, percebemos que o el niño e o la niña são os fatores climáticos e meteorológicos que, durante os onze anos da série temporal relatada, influenciaram diretamente e indiretamente nos ciclos de variações sazonais da região do Agreste da Paraíba, resultando em perdas significativas do volume de água, por evaporação entre 2012 a 2017, na região de Boqueirão, onde se localiza a barragem Epitácio Pessoa. No entanto, devido à regularidade dos índices pluviométricos e à chegada das águas do eixo leste do Rio São Francisco na região da bacia hidrográfica do Rio Paraíba e Taperoá, obtivemos um aumento do volume no período entre 2017 e 2020.

Além disso percebemos que há uma estimativa de aumento nos níveis do volume do Açude Público Epitácio Pessoa para 2024, uma probabilidade de média de 40% em elevação, projeção significativa em se tratando dos de 5% do ano de 2023. Segundo o Modelo de Arima, a média do volume hídrico do açude, nos últimos 11 anos, foi avaliada pelo teste de não paramétrico de Mann Kell, chegando ao nível de significância de 5% ($p\text{-valor} < 0,05$), resultando numa média de aumento do volume estimado do manancial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo fazer uma análise dos cenários de mudanças climáticas e suas implicações sobre os recursos hídricos da Paraíba, especificamente nas maiores barragens do estado: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe D'água, tendo em vista montar um cenário da problemática, a partir de aspectos essenciais para a gestão hídrica, como também suas estratégias e diretrizes para desenvolvimento sustentável.

A metodologia escolhida para o desenvolvimento do estudo foi a utilização de pesquisa exploratória e descritiva, no intuito de responder aos questionamentos levantados nos objetivos geral e específicos, contando com uma abordagem analítica e quanti-qualitativa dos dados, cuja obtenção se deu pela realização de análises dos dados de series temporais de volume e pluviometria, contando com o auxílio de modelos matemáticos e estatísticos de Sarima e Arima, gerados a partir do programa R, resultando em gráficos de sazonalidade, tendência, previsão, resíduos, estacionariedade e não estacionariedade acerca dos cenários e implicações das mudanças hidro climáticas das barragens de Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe D'Água.

Em se tratando dos cenários hidro climáticos da Paraíba, o estudo relevou, através de modelagem estatística mais eficientes utilizando como os métodos de Sarima e Arima, nas projeções de previsibilidade do volume hídrico para o ano de 2025, mediante análises descritivas de testes de Mann Kendell (tendencialidade) e Dicker – Fuller (estacionariedade), modelos eficientes e ideais para acompanhar as series temporais sobre os sistemas hídricos. Através disso, será possível desempenhar, por intermédio da gestão pública, medidas exequíveis sobre a questão das mudanças climáticas e suas implicações sobre os recursos hídricos nos grandes mananciais da Paraíba nas circunstâncias de eventuais extremos climáticos, o que dará suporte às condições para a distribuição de água, tomando por base medidas de planejamento governamental em cenários climáticos através de series temporais.

Portanto, os estudos desenvolvidos através da aplicações dos modelos estatísticos de volume e pluviometrias das barragens e bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Piancó e Piranhas, demostram que as mudanças climáticas interferiram, diretamente, no cenário de alterações climáticas e suas consequências apontam para a ocorrência de alterações no regimes de chuvas e nos volumes hídricos nos mananciais, sendo assim é possível determinar que os índices de séries temporais medidos comprovam esses efeitos nos cenários socioambientais e suas implicações climáticas perante os recursos hídricos do estado da Paraíba.

REFERÊNCIAS

AESA –Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Volume de Açudes**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/ultimos-volumes />>. Acesso em: 23 de jan. de 2024.

AESA-Agência Executiva de Gestão das Água do Estado da Paraíba – AESA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba**. Resumo estendido. João Pessoa: AESA, 2006.

AKAIKE, H. **A new look at statistical model indentification**. *IEEE Transactions Automatic Control*, V.19, p. 716-723, 1974. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ad58/58a2bc9ac4f7602a586c274482ef137751e5.pdf>. Acesso em: 21 de fev. de 2024.

ALBUQUERQUE, Junior, D. M. **Falas de Astúcia e de Angústia: a seca no imaginário nordestino - de problema à solução (1877-1922)**. Durval Muniz de Albuquerque Junior. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, p. 435. 1988.

ALMEIDA, L. P. **Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu: uma avaliação do risco futuro de seca sob as mudanças climáticas**. Lucas Pereira Almeida. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências e tecnologia, Universidade estadual do Rio de Janeiro (UERJ). Rio de Janeiro, p. 195. 2022.

ALMEIDA, M. A.; CURI, W. F. **Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança**. *Revista Ambiente e Água*, v. 11, p. 989-1005, 2016.

ALMINO, L. M. O.; RUFINO, I. A. A. Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: simulações em Campina Grande (PB). *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, p. 915-925, 2021.

ANA –Agência Nacional de Águas. **ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores**. *Agência Nacional de Águas*. Brasília: ANA, 2019.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília, 2016, 93 p.

ANDRADE, C.W. L DE et al. **Modelagem Hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrológica no Nordeste do Brasil**. *Journal of environmental Analysis and progress*, V.2, n. 3, p. 239, 31 jul. 2017.

ARAÚJO SEGUNDO NETO, F. V.de; VIANNA. P. C. G. **Políticas hídricas divergentes no Semiárido paraibano: ensaio para uma convergência**. In: Ana Paula Silva dos Santos; Durval Muniz de Albuquerque Júnior; Ricardo Augusto Pessoa Braga; Rozeane Albuquerque Lima; Salomão de Sousa Medeiros. (Org.). *O encolhimento das águas: o que se vê e o que se diz sobre crise hídrica e convivência com o Semiárido*. 1ed. Campina Grande: INSA, 2018, v. 1, p. 107-127.

ARAÚJO, D. C.; Ribeiro, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. L. **Conflitos Institucionais na Gestão dos Recursos Hídricos do estado da Paraíba**. RBRH: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 4, p. 259-271, 2012.

ARÊDES, A.F.; PEREIRA, M.W.G. Potencialidade da utilização de modelos de séries temporais na previsão do preço do trigo no Estado do Paraná. *Revista de Economia agrícola*, V.55, n.1, p.63-76, 2008.

BARBOSA, E. M. **Produção de pesquisa acadêmica internacional sobre gestão de recursos hídricos**. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11 n. 4, 2020.

BEZERRA, Aline Pessoa. **Governança de Água para distintos Níveis de Planejamento no Semiárido: Análise para o período 2012 a 2018**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recurso Naturais, Campina Grande-PB, 126 f. 2019.

BEZERRA, M. B.; BEZERRA, A. P. P. S. **A crise hídrica como reflexo da seca: o Nordeste Setentrional em alerta**. *Revista do Regne*, v. 2, n. esp., p. 623- 632, 2016.

BEZERRA, Maria Auricleide Andrada, et al. **Gestão das Águas de Barragens do Nordeste a partir de uma Perspectiva Social e Econômica**. In 47º Congresso Brasileiro de Economia Administração e Sociologia Rural – SOBER, 2009. Porto Alegre. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/13/612.pdf> . Acesso em 08 de ago de 2023.

BEZZERA, Aline Pessoa. **Governança de água distintos níveis de planejamento no semiárido da Paraíba: análise no período 2012 - 2018** / Aline de Oliveira Calado. Dissertação de (Mestrado em engenharia civil e ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, CTRN. Programa de Pós-graduação em engenharia civil e ambiental, Campina Grande, 126 f. 2019.

BOX, G. E. P. et al. **Time series analysis: forecasting and control**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

GEORGE; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis**. [s.l.] San Francisco : Holden-Day, 1970.
BOYD, D, R. **The Rights of nature: a legal revolution that could save the world**. Toronto ECW Press, 2017.

BRAGA, J. L. et al. **Impactos ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas, no percurso entre Boqueirão de Piranhas a São Gonçalo – PB**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 05, Ed. 09, Vol. 08, pp. 56-78. 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/rio-piranhas>. Acesso em: 16 de abr. de 2024.

BRASIL, Decreto n 35.549, de 24 de maio de 1954. Declaração de utilidade pública, para efeito de desapropriação pelo departamento nacional de obras contra a seca, área de terreno necessária à construção do açude Público “ Boqueirão” no Município de Boqueirão e Cabeceiras. Estado da Paraíba. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1950-1959/decreto-35549-24-maio-1954-327628-publicacaooriginal-1-pe.html> >. Acesso em: 08 de ago. de 2023.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 15 de fev. de 2024.

BRAVO, A. A. S. CERVI, J. R.; **A política nacional de águas: em busca do reconhecimento da água como direito humano fundamental**. In: Talden Farias; José Irialdo Alves O. Silva. (Org.). Direito. À água e Cidades. 1ed. João Pessoa: UFPB, 2019, v. 1, p. 11-31.

BUGGE, Hans Cristian. **Doze Desafios fundamentais no direito ambiental: uma introdução ao conceito de Estado de Direito para a natureza**. Em “Estado de Direito para a natureza: novo Dimensões e ideias em direito Ambiental” VOIGT, Cristina (org.). Cambridge: Cambridge University Press, 2013, p.03 A 26.

BURITI, C.O.; BARBOSA, H. A. **Secas e vulnerabilidade socioambiental no semiárido brasileiro: a institucionalização dos estudos científicos e das políticas hídricas na região**. CIÊNCIA GEOGRÁFICA, v. XXIII, p. 267-282, 2019.

CALADO, Tatiana de Oliveira. **Análise da relação do uso do solo com a qualidade da água do açude Epitácio Pessoa no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco** / Tatiana de Oliveira Calado. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 146 f. 2020.

CAMPOS, A. R.; DA SILVA, J. B. L.; SANTOS, G. G.; RATKE, R. F.; DE AQUINO, I. O. **Estimativa de parâmetros das equações de chuvas intensas para estações pluviométricas do Estado da Paraíba, Brasil**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 15–21, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/43821>. Acesso em: 08 de ago. de 2023.

CARVALHO; CURI, W. F. ; CARVALHO, E. K. M. A. ; CURI, R. C. . **Proposta e Validação de Indicadores Hidro ambientais para Bacias Hidrográficas: Estudo de Caso na Sub-Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, PB**. Sociedade & natureza (UFU. Online), v. 23, p. 295-310, 2011.

CAUBERT, Chistian Guy. **A água, a lei, a política... E o meio ambiente!** Juruá Editora. Curitiba, 2004. p.189. Disponível em:
<https://www.jurua.com.br/bv/conteudo.asp?id=12779&pag=3>. Acesso em: 16 de ago. de 2023.

CRUZ, G. L. DA C. **Estimativa da demanda de água para o consumo urbano e rural frente ao volume dos açudes Epitácio Pessoa, Cordeiro e Camalaú, Estado da Paraíba**. Trabalho de conclusão de curso [Graduação em Engenharia de Biossistemas, Universidade Federal de Campina Grande], Campina Grande, 2016.

CUNHA, D.G.F. & CALIJURI, M.C. **Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas**

aquáticos - estudo de caso do Rio Pariqueira-Açu (SP). Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 4, p. 337-346, 2010.

CUNHA, Luis Henrique Herminio. Os desafios da ampliação do acesso à água em comunidades rurais do Semiárido nordestino: inovação, governança e democracia no Brasil do século XXI. In: Ana Paula Silva dos Santos; Durval Muniz de Albuquerque Júnior; Ricardo Augusto Pessoa Braga; Rozeane Albuquerque Lima; Salomão de Sousa Medeiros. (Org.). **O encolhimento das águas: o que se vê e o que se diz sobre crise hídrica e convivência com o semiárido.** 1 ed. Campina Grande: INSA, 2018, V.1, P. 95-106.

CUNHA, T. B. et al **Mapeamento e tipologia dos conflitos pela gestão e controle das águas no Estado da Paraíba.** Bol. geogr., Maringá, v. 30, n. 2, p. 31-43, 46 2012.
<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/download/14962/9428> . Acesso em: 12 de mar. de 2023.

DIGGLE, P. **Time series: a biostatistical introduction.** Oxford England: Clarendon Press; New York, 1990.

FARIAS, T. da S. **Áreas de propensão a seca no Estado da Paraíba: uma análise espacial dos decretos de situação de emergência e a atuação da operação pipa.** Revista de Geociências do Nordeste, v.6, n.1, p.71-79, 2020.

FERREIRA, Luanny Gabriele Cunha; Kemenes, Alexandre. **Influencia histórica (1998-2016) dos parâmetros globais e regionais sobre os reservatórios do interior do Nordeste.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 25, p. 1, 2019.

FIGUEIREDO, A. A. O. **Redução de perdas na rede de abastecimento de água em cidades do semiárido no Agreste de Pernambuco.** 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Pernambuco, Recife, 2019.

FILHO, R. S. R. **Cenários de projeção do risco a inundações no Estado da Paraíba.** Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2022.

FRANCISCO, P. R. M., SANTOS, D. **Climatologia do Estado da Paraíba (1ªed.).** Editora da Universidade Federal de Campina Grande- EDUFPG. Campina Grande, 2016.

FRANCISCO, P. R. M; SANTOS, D. **Climatologia do Estado da Paraíba.** Campina Grande: EDUFPG, 75p. 2017.

GAMA, Walber Mendes, **Impactos das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia hidrográfica do rio paraíba do meio (AL\PE) | Walber Mendes Gama.** Dissertação (Mestrado em Recursos hídricos e saneamento). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas. P. 112, Maceió, 2011.

Integrated Water Resources Management Global Water Partnership Technical Advisory Committee (TAC) Global Water Partnership. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-english.pdf>>. Acesso em: 22 de jan. de 2024.

GRINDLE, M. S. Good Enough Governance: Poverty Reduction and Reform in Developing Countries. **Governance**, v. 17, n. 4, p. 525–548, out. 2004. Disponível em: https://courses.washington.edu/pbaf531/Grindle_GoodEnoughGov.pdf. Acesso em: 14 de mar. de 2024.

GUERRA, Paulo de Brito. **A civilização da seca: o Nordeste é uma história mal contada**. DNOCS, Fortaleza, 1981.

HERRERA, M. et al. **Predictive models for forecasting hourly urban water demand**. Journal of Hydrology, volume 387, Issues 1–2, 2010, pages 141-150. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169410001861?via%3Dihub>. Acesso em: 10 de mar. de 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Séries Temporais. 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html>. Acesso em: 22/01/2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de abastecimento e saneamento básico**. Série temporal, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pesquisa/30/84366> . Acesso em: 14 de março de 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Séries históricas demográficas gráficas da Paraíba**. Série temporal, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pesquisa/53/49645?ano=2052&tipo=grafico>. Acesso em: 22/01/2024.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: **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. 1-34. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf>. Acesso em: 16 de abr. de 2024.

JACOBI, PEDRO R; NASCIMENTO, Samia S. **Governança ambiental urbana em face das mudanças climáticas**. REVISTA USP, v. 109, p. 133-142, 2016.

JACOBI, Pedro Roberto; FRANCALANZA, Ana Paula e SÁNCHEZ, Solange Silva. **Governança da água e inovação na política de recuperação de recursos hídricos na cidade de São Paulo**. Cadernos Metrópole [online]. São Paulo, v. 17, n. 33, 2015. ISSN 2236-9996. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cm/v17n33/2236-9996cm-17-33-0061.pdf>. Acesso em: 14 de mar. de 2024.

JIMÉNEZ CISNEROS, B. E., et al. Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 229-269. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267865567_Part_A_Global_and_Sectoral_Aspects_Contribution_of_Working_Group_II_to_the_Fifth_Assessment_Report_of_the_Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change. Acesso em 12 de mar de 2023.

JOFFLY, Irineu. **Notas sobre a Paraíba**. Brasília: Thesaurus, [1892] 1977.

LINS, G. M. L. **Análise de variáveis determinantes no consumo urbano de água de uso doméstico na cidade de Campina Grande - PB**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011.

LOURENÇO, A.M.G.; NUNES, T. H. C.; CARENEIRO, T.C.; FARIAS, C.A.S.; **Previsão Diária de Vazões Na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó Através de Redes Neurais Artificiais**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

LUCCHESI, Fernanda. **O feijão do Zé Américo: terra. Trabalho e deslocamento nas políticas contra as secas, o caso de Coremas**. Tese (doutorado em Antropologia Social), - Instituto de Filosofia, letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo -SP, p. 397. 2017.

LUCENA, A.F.P.; SZKLO, A.S.; SCHAEFFER, R.; SOUZA, R.R.; BORBA, B.S.M.C.; COSTA, I.V.L.; AMARO JÚNIOR, O.P.; CUNHA, S.H.F. **The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil**. Energy Policy, v. 37, p. 879-889, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421508006058?via%3Dihub>. Acesso em: 16 de mar. de 2024

MAASA-AZARDE, Patrícia Helena. Dimensão Jurídica das Políticas Públicas. In: Bucci. In. Maria P.D (org.). **Políticas Públicas: reflexos sobre o conceito jurídico**. São Paulo: Saraiva, 2006.P.51-74.

MEDEIROS, A. M. T. de; BRITO, A. C. de. **A seca no Estado da Paraíba: impactos e ações de resiliência**. Parcerias Estratégicas, v.22, n.44, p.139-154, 2017.

MEDEIROS, B. M., Aragão, de A., Silvino, G. da S., Medeiros, C. M., & Gondin, S. C. (2019). **Avaliação do volume armazenado no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) no semiárido paraibano**. In Pereira, A. I. de A. (Org.) Agronomia: elo da cadeia produtiva 4. Vol.4. Editora Atena.

MEDEIROS, S.R.R; SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B de. A.; GIONGO, P. R.; **Correlação entre as Temperaturas da Superfície do Mar e a Quantidade da Precipitação na Estação Chuvosa no Nordeste do Estado de Pernambuco**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.1, p.149-156, 2011.

MELLO, Flavio. PIASENTIN, Corrado. **A história das barragens no Brasil, séculos XIX, XX E XXI: cinquenta anos do comitê brasileiro de Barragens**. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

MELO, Vaneli da Silva, **Estudo da precipitação no Estado da Paraíba usando análises de serie temporais (manuscrito)** | Vaneli da Silva Melo. Tese (doutorado em engenharia ambiental). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Campina Grande – PB, p.122, 2022.

MONTEIRO, Paulo da Mata. **Aplicação do Princípio do Limite com vista à Exploração Racional do açude de Boqueirão**. Monografia (Graduação em Direito), - Centro de Ciências Jurídicas, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande-PB, 2018. 32 p.

MORAIS, Ana Clara da Silva; BARBOSA, Nyedja Fialho Morais. **Análise de dados volumétricos dos açudes Coremas e Mãe d'Água da Paraíba**. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 11, p. e49111032397, 2022.

MORAIS, Ana Clara da Silva; BARBOSA, Nyedja Fialho Morais. **Modelagem de dados volumétricos do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)**. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 11, p. e409111133772, 2022

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. **Previsão de Séries Temporais**. 2.ed. São Paulo: Atual Editora, 2006.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. **Previsão de Séries Temporais**. 2.ed. São Paulo: Atual Editora, 1985.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. **Previsão de Séries Temporais**. 2.ed. São Paulo: Editora Edgar blucher, 2004.

MOURA, E. M. de. **Avaliação da disponibilidade hídrica e da demanda hídrica no trecho do Rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-Mãe D'água e Armando Ribeiro Gonçalves**. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte], Rio Grande do Norte, 2007.

NÓBREGA, J. N. ; SANTOS, C. A. C. ; GOMES, O. M. ; BEZERRA, B. G.; BRITO, J. I. B. **Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões da Paraíba e suas relações com a TSM dos oceanos tropicais**. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 29, p. 197-208, 2014.

OLIMPIO, J. L. S. **Análise multicritério do risco de desastres naturais: Um estudo sobre a seca na região nordeste do Brasil**. Fortaleza: UFC, 2017. 239p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, 2017.

OLIVEIRA, Isaias Souza. **Construção do açude Engenheiro Ávidos: narrativas silenciadas das vítimas da seca e do progresso (São José de Piranhas/PB, 1920-1980)** / Isaias Souza Oliveira. - Cajazeiras, 2017. 77p.: il.

PARAÍBA. Governo do Estado. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: relatório executivo/Governo do Estado da Paraíba**. – João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2023.

PARAÍBA. Governo do Estado. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: relatório executivo/Governo do Estado da Paraíba**. – João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 227 p., 2022.

PARAÍBA. **Lei Estadual nº 9.336, de 31 de janeiro de 2011. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC**. João Pessoa: Assembleia Legislativa, 2011.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. **PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas**. Brasília, DF, 2006. 112p.

PEREIRA, G. R., Silva Júnior, M. M., & Barbosa, A. H. S. **Mapeamento dos espelhos d'água de reservatórios da Paraíba: Estudo de caso da Transposição do Rio São Francisco**. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019.

PRESTON, D. B. (1983). **Spectral Analysis and Time Series**. *Technometrics*, 25(2), 213–214. New York, Academic Press, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00401706.1983.10487866>. Acesso em: 16 de abr. de 2024.

RAMOS, Daniele Brito. **Tecnologias Hídricas Sociais como Estratégias de Convivência com a Seca no Recorte Geográfico de Sumé, PB**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional), Universidade Estadual da Paraíba, Pró – Reitoria de Pós-graduação em Pesquisa, Campina Grande-PB, 122 p. 2020.

REBOUÇAS, Aldo Rebouças. **Uso Inteligente da Água**. São Paulo. Escrituras, 2004.

RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; RIBEIRO, M. M. R. **Uma análise da crise 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande-PB**. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal – RN, 2000.

RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. DE O.; ALBUQUERQUE, J. DO P. T.; RIBEIRO, M. M. R.; NUNES, T. H. C. **A gestão de recursos hídricos e a transposição de águas do Rio São Francisco para o açude Epitácio Pessoa – Boqueirão**. Anais do XXII SBRH. Anais.... p.1–8. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017.

RIBEIRO, Márcia Maria Rios; VIEIRA, Zédna Mara Castro Lucena. **A gestão de recursos hídricos no Estado da Paraíba: Aspectos legais e institucionais**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2007.

RODRIGUES, Layane Moura. **Avaliação dos desastres naturais no Estado da Paraíba entre 2010 e 2020**. / Layane Moura Rodrigues. Dissertação (Mestrado) Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos- PROFÁGUA - Universidade Federal de Campina Grande, CDSA- Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Sumé-PB, 75 f. 2022.

RODRIGUES, A.C.L.; CELESTE, A.B.; BARBOSA, A.R.L.; CURI, W.F.; CURI, R.C. **Influência dos reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'água no processo de outorga na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-PB**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

SANTOS, Débora. Aparecida da Silva, **Influência das Variáveis Climáticas na Prevalência de Infecções Respiratória Aguda em Crianças menores de dois anos no Município de Rondonópolis –MT**. 2015, 132f. tese (Doutorado Inter em Recursos Naturais UFCG/ UFMT), Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, UFCG- Universidade Federal de Campina Grande, Rondonópolis, 2015.

SCHULZ, C.; MARTIN-ORTEGA, J.; GLENK, K.; IORIS, A. A. R. **The Value Base of Water Governance: A Multi-Disciplinary Perspective.** *Ecological Economics*, v.131, P. 241-249. Set, 2016. Disponível em: <https://api.repository.cam.ac.uk/server/api/core/bitstreams/0be0d3fa-2526-4ca4-97b0-dd3138e2849d/content>. Acesso em: 16 de abr. de 2024.

SCHULZE. R.; NETO. S.; CAMKIN. J.; FENEMOR. A.; TAN. P. L.; BAPTISTA. J. M.; RIBEIRO. M.; STUART-HILL. S.; SPRAY. C.; ELFITHRI. R. **OECD principles on water governance in practice: an assessment of existing frameworks in Europe, Asia-Pacific, Africa and South America.** *Water International*, Vol. 43, p.60-89, novembro, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341027646_OECD_Principles_on_Water_Governance_in_practice_an_assessment_of_existing_frameworks_in_Europe_Asia-Pacific_Africa_and_South_America. Acesso em: 19 de abr. de 2024.

SILVA, A. M.; ARAUJO, C. C. R. B.; ARAUJO, F. R. N.; CANDEIA, M. O.; SOUSA, F. R. L. **Quantificando perdas hídricas em cidades paraibanas.** *Revista Brasileira de Direito e Gestão Pública*, v. 8, p. 962-973, 2021.

SILVA, A.L. **O Meio Ambiente do Brasil Frente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** *Espirales*, v. 5, p. 17-34, 2021.

SILVA, Camila Karla Medeiros. **Análises das relações entre consumo de água e crescimento urbano em pequenos municípios Paraibanos** / Camila Karla Medeiros Silva. Dissertação (Mestrado em engenharia civil ambiental) - Universidade Federal De Campina Grande, CTRN – (Centro de Tecnologia e recursos Naturais), Campina Grande, 157 f. 2023.

SILVA, D.A.M.; Moura, M.O.: **Registros de desastres associados à estiagem e seca na região do Alto Sertão da Paraíba.** *Revista de Geociências do Nordeste*, V.4, p. 126-136, 2018.

SILVA, Jorge Flavio Casé Braga da Costa. **Crise Hídrica no Abastecimento de Campina Grande: Análise de Cenários Futuros no Volume de Água do Reservatório Epitácio Pessoa entre 2020 a 2030.** Tese (Doutorado em Geografia), - Centro de Ciências Exatas e da Natureza - Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa-PB, 122 f. 2019.

SILVA, P. H. P; RIBEIRO, M. M. R.; RÊGO, J. C.; MIRANDA, L. I. B. (2014). **A gestão de recursos hídricos na visão midiática – O caso do açude Epitácio Pessoa/Boqueirão –PB.** In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal - RN, 2014.

SILVA, R.M.A. As políticas das águas no Semiárido brasileiro. In: SANTOS, Ana Paula Silva dos; JÚNIOR, Durval Muniz de Albuquerque; BRAGA, Ricardo Augusto Pessoa.

LIMA, Rozeane Albuquerque; MEDEIROS, Salomão de Sousa. (Org.). **O encolhimento das águas: o que se vê e o que se diz sobre crise hídrica e convivência com o Semiárido.** 1ed.Campina Grande/PB: INSA - Instituto Nacional do Semiárido, 2018, v. 1, p. 74-94.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations.** Genève: Otganisation Meterologique Mondial, 192p. (OMM Note Technique, 143), 1975.

SOUZA, F.B. **Modernidade à Conta Gotas: Por Uma História Do Abastecimento De Água Em Campina Grande – Pb (1950-1958)**. Fabiano Badu Souza. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, 2013. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/437/FABIANO%20BAD%c3%9a%20DE%20SOUZA%20%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20PPGH%20CH%202013.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SUDENE, **Resolução Nº 115 de 23 de novembro de 2017**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Ministério da Integração Nacional, Brasília – DF, Publicado em 05/12/2017, Edição 232, Seção 1, Páginas 26-34.

SUDENE. **As secas do Nordeste (Uma Abordagem Histórica de Causas e efeitos)**. Recife-PE. Sudene-DNER, 1981.

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais.**

Volume Paraíba. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis-SC: CEPED UFSC, 2011.

VILLA, Marco Antônio. **Vida e morte no Sertão: história das secas no Nordeste nos séculos XIX E XX**. São Paulo: Ática, 2001.

YIN, R.K. **ESTUDO DE CASO: planejamento e métodos**. 2 eds. Porto Alegre: Bokman, 2001.

ZHANG, W. & ARHONDITSIS, G.B. **Predicting the frequency of water quality standard violations using bayesian calibration of eutrophication models**. Journal of Great Lakes Research, v. 34, p. 698-720. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0380133008716125>. Acesso em: 10 ago. 2023.