



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPUS I - CAMPINA GRANDE

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

AMBIENTAL

MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**RELAÇÃO DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA E OS ÍNDICES DE SECA COM A
QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

MAXSUEL BEZERRA DO NASCIMENTO

**CAMPINA GRANDE-PB
2022**

MAXSUEL BEZERRA DO NASCIMENTO

**RELAÇÃO DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA E OS ÍNDICES DE SECA COM A
QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre (a) em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Linha de pesquisa: Tecnologias de Tratamento de Água e de Resíduos

Orientador: Prof. Dr. Laercio Leal dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. William de Paiva

**CAMPINA GRANDE-PB
2022**

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.

N244r Nascimento, Maxsuel Bezerra do.

Relação da variabilidade climática e os índices de seca com a qualidade da água em reservatórios de abastecimento público na bacia hidrográfica do Rio Paraíba [manuscrito] / Maxsuel Bezerra do Nascimento. - 2022.

110 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Laercio Leal dos Santos, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

"Coorientação: Prof. Dr. William de Paiva, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Cianobactérias. 2. Hidrografia paraibana. 3. Qualidade da água. 4. Chuva. 5. Rio Paraíba. I. Título

21. ed. CDD 553.7

MAXSUEL BEZERRA DO NASCIMENTO

**RELAÇÃO DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA E OS ÍNDICES DE SECA COM A
QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, em cumprimento às exigências para obtenção do título de mestre em ciência e tecnologia ambiental.

Aprovada em: 15/02/2022.

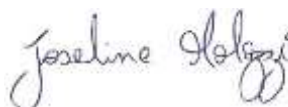
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos
(Orientador – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Profa. Dr. William de Paiva
(Coorientador – Universidade Federal de Campina Grande - UEPB)



Prof. Dra. Joseline Molozzi
(Avaliador Interno – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Prof. Dr. Lincoln Eloi de Araújo
(Avaliador Externo – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE)



Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda
(Avaliador Externo – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE)

*Dedico esse trabalho, a minha família,
especialmente aos meus pais, razões da minha vida.*

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, por seu amor incondicional e por todas as graças concedidas até aqui.

Aos meus pais, Marcos Antônio e Suely Bezerra, por todo apoio, dedicação e esforços para que eu alcançasse todos os meus objetivos. Além disso, a minha irmã, Suelen Emanuelle, por sempre estar ao meu lado e me apoiar.

A minha tia Neta Braz, pelo apoio durante o mestrado, me apoiando com um Notebook o que me ajudou na escrita da dissertação. Assim como toda minha família e amigos que sempre apoiaram minhas escolhas e incentivaram a conquistar meus sonhos.

Aos amigos que conheci no mestrado, o conhecido grupo “Quarteto Fantástico” Janaína, Ludemario e Tassio, por toda parceria, contribuição e ajuda.

A todos os integrantes do Grupo de Pesquisa em Tecnologia Ambiental (GPTecA), no qual fiz parte durante essa caminhada, especialmente aos que me auxiliaram na pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos, por ser uma pessoa incrível, pela sua dedicação com a pesquisa antes mesmo de ingressar no próprio mestrado, além de ser um ótimo profissional.

A meu coorientador Prof. Dr. William de Paiva, pela oportunidade de trabalhar em conjunto no desenvolvimento da pesquisa, nos métodos estatísticos e pelos ensinamentos.

Aos demais professores que estiveram presentes nessa caminhada e membros da banca, especialmente prof. Dr. Lincoln Eloí de Araújo, Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda e Prof. Dra. Joseline Molozzi.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), pela oportunidade de contribuição no meio científico.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da bolsa de estudos.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) pela parceria formalizada e ao Laboratório de Ecologia Aquática (LEAq) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) por meio dos dados Físico-químico e Biológico da água.

Ao Programa Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD), no qual minha pesquisa está inserida dentro do programa, ajudando no desenvolvimento da região.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente estiveram comigo nessa importante etapa da minha vida.

RESUMO

Nas últimas décadas o processo de degradação ambiental se intensificou sobretudo, em diversas regiões do planeta, ocasionando o desmatamento, práticas desordenadas nos cultivos, queimadas, irrigação irregular e pela poluição por derivados químicos nos plantios que proporciona a contaminação na água, do subsolo e alterando os parâmetros físico-químicos da água. Logo, tais fatores favorecem o aumento da temperatura e na irregularidade da precipitação, colocando em risco a flora e fauna silvestre. Portanto, torna-se necessário avaliar o efeito existente entre a variabilidade climática da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (BHRPB) e dos Índices de Seca com a qualidade físico-química da água e a presença de cianobactérias em alguns reservatórios de abastecimento público da BHRPB, no Estado da Paraíba. No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados dados pluviométricos mensais da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, Instituto Nacional de Meteorologia e Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba. Os dados de temperatura e umidade relativa utilizados nesse estudo foram disponibilizados por um projeto conjunto entre a Universidade do Texas (EUA) e Universidade Federal do Espírito Santo (Brasil). A partir da correlação entre os seguintes índices de seca: Índice de Porcentagem Normal (IPN), Método Decis (MD) e o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), foi proposto a criação de um novo índice chamado de Índices de Severidade das Secas (ISS). Os métodos estatísticos serviram em vários aspectos, inicialmente para o preenchimento de falhas que existiram nos dados pluviométricos em alguns anos nos municípios. De acordo com os resultados obtidos a nova proposição de IS proposta, dinamizando os métodos do IAC, IPN e MD, contribuíram na simplicidade da análise da característica pluviométrica na região. Sendo o método IAC, apresentando resultados mais representativo na escala anual, e o MD na escala mensal. Deste modo, utilizando a escala anual no ISS, foi possível evidenciar 26 anos secos e 14 anos úmidos, variando de ES a EU. Além disso, destaca-se que as variáveis “S e U” ocorreram em mais de 57,5 % para a BHRPB, “MS e MU”, apresentaram juntos 25 %, enquanto os anos de “ES e EU” apresentaram 17,5 %. Porém, são nessas conjunturas que necessitam de uma maior atenção por parte do gerenciamento dos recursos hídricos. Em relação ao ISS mensal, seis meses se caracterizaram como “EU e ES”, três meses como “MS e MU” e três meses como “S e U”. Portanto, notasse que os valores extremos são mais passíveis de ocorrer na análise mensal do que anual, visto que sua intensidade e características no somatório é que forma a escala anual. Foi possível constatar que em relação ao ISS e as cianobactérias, os reservatórios de Borborema e Acauã demonstra que a maior quantidade no período seco, já nos reservatórios de Gavião e Massaranduba, está

presente no período chuvoso. Por fim, as espécies que predominam nesta região são as *Cylindropermopsis raciborskii* e a *Pseudanabaena catenata*, presentes em todos os reservatórios.

Palavras-Chave: Índices de Seca (IS). Índices de Severidade das Secas (ISS). Períodos. Cianobactérias.

ABSTRACT

In the last decades, the process of environmental degradation has intensified, especially in different regions of the planet, causing deforestation, disorderly practices in crops, fires, irregular irrigation and pollution by chemical derivatives in plantations that provide contamination in water, underground and altering the physical-chemical parameters of the water. Therefore, such factors favor the increase in temperature and irregularity of precipitation, putting the wild flora and fauna at risk. Therefore, it is necessary to evaluate the effect between the climatic variability of the Paraíba River Basin (BHRPB) and the Drought Indexes with the physicochemical quality of the water and the presence of cyanobacteria in some reservoirs of public supply of the BHRPB, in the state of Paraíba. In the development of this research, monthly rainfall data from the Superintendence for the Development of the Northeast, the National Institute of Meteorology and the Executive Agency for Water Management of Paraíba were used. The temperature and relative humidity data used in this study were made available by a joint project between the University of Texas (USA) and the Federal University of Espírito Santo (Brazil). From the correlation between the following drought indices: Normal Percentage Index (IPN), Decis Method (MD) and Rainfall Anomaly Index (IAC), it was proposed to create a new index called Drought Severity Indices. (ISS). The statistical methods served in several aspects, initially to fill in gaps that existed in the rainfall data in some years in the municipalities. According to the results obtained, the proposed new IS proposition, streamlining the IAC, IPN and MD methods, contributed to the simplicity of the analysis of the rainfall characteristic in the region. Being the IAC method, presenting more representative results in the annual scale, and the MD in the monthly scale. Thus, using the annual scale on the ISS, it was possible to show 26 dry years and 14 wet years, ranging from ES to EU. In addition, it is noteworthy that the variables "S and U" occurred in more than 57.5% for the BHRPB, "MS and MU", together presented 25%, while the years of "ES and EU" presented 17.5 %. However, it is in these contexts that greater attention is needed on the part of the management of water resources. Regarding the monthly ISS, six months were characterized as "EU and ES", three months as "MS and MU" and three months as "S and U". Therefore, it was noted that extreme values are more likely to occur in the monthly analysis than annual, since its intensity and characteristics in the sum form the annual scale. It was possible to verify that in relation to the ISS and cyanobacteria, the Borborema and Acauã reservoirs demonstrate that the largest amount in the dry period, in the reservoirs of Gavião and Massaranduba, is present in the rainy season. Finally,

the species that predominate in this region are *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Pseudanabaena catenata*, present in all reservoirs.

Key words: Drought Indices (SI). Drought Severity Indices (ISS). Periods. Cyanobacteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da BHRPB, com relação ao Estado da Paraíba e ao Brasil.....	27
Figura 2. Exemplo do modelo Análise de Dupla Massa.....	34
Figura 3. Mapa da Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	36
Figura 4. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	37
Figura 5. Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	38
Figura 6. Mapa de Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....	39
Figura 7. Pluviograma Anual do Alto Paraíba.....	40
Figura 8. Pluviograma Mensal do Alto Paraíba.....	40
Figura 9. Isoietas médias mensais da Pluviometria do Alto Paraíba de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).....	42
Figura 10. Pluviograma Anual da Sub-Bacia do Taperoá.....	43
Figura 11. Pluviograma Mensal da Sub-Bacia do Taperoá.....	44
Figura 12. Isoietas médias mensais da Pluviometria da Sub-Bacia do Taperoá de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).....	46
Figura 13. Pluviograma Anual do Médio Paraíba.....	47
Figura 14. Pluviograma Mensal do Médio Paraíba.....	48
Figura 15. Isoietas médias mensais da Pluviometria do Médio Paraíba de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).....	50
Figura 16. Pluviograma Anual do Baixo Paraíba.....	51
Figura 17. Pluviograma Mensal do Baixo Paraíba.....	51
Figura 18. Isoietas médias mensais da Pluviometria do Baixo Paraíba de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).....	53
Figura 19. Temperatura Mínima Anual da série histórica de 1980 a 2017.....	54
Figura 20. Temperatura Máxima Anual da série histórica de 1980 a 2017.....	55
Figura 21. Temperatura Média Anual da série histórica de 1980 a 2017.....	56
Figura 22. Temperatura Média mensal de 1980 a 2017.....	57

Figura 23. Comportamento temporal entre as variáveis Precipitação e Temperatura Mensal da série histórica.....	58
Figura 24. Isoietas médias mensais de TMéd da BHRPB de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).....	60
Figura 25. URA Anual da Série histórica de 1980 a 2017.....	61
Figura 26. URA Mensal da Série histórica de 1980 a 2017.....	62
Figura 27. Comportamento temporal entre as variáveis Precipitação e URA da série histórica.....	63
Figura 28. Isoietas médias mensais de URA da BHRPB de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).....	64
Figura 29. Índice de Severidade das Secas Anual da BHRPB conforme a nova classificação proposta.....	72
Figura 30. Índice de Severidade das Secas mensal da BHRPB conforme a nova classificação proposta.....	76
Figura 31. Distribuição em % da ocorrência de espécies de cianobactérias nos reservatórios da BHRPB.....	77
Figura 32. Dendrograma do reservatório de Boqueirão.....	79
Figura 33. Dendrograma do reservatório de Acauã.....	82
Figura 34. Dendrograma do reservatório de Gavião.....	83
Figura 35. Dendrograma do reservatório de Massaranduba.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Reservatórios da BHRPB que foram analisados.....	30
Quadro 2. Relação entre os valores de MD e o proposto pelos autores.....	65
Quadro 3. Relação entre os valores do IAC de Araújo et al. (2009) e o proposto pelos autores.....	66
Quadro 4. Relação entre os valores de IPN de Cunha (2008) e o proposto pelos autores.....	66
Quadro 5. Conjectura de combinações das classes de Índices de Secas, para determinação do valor de severidade do Índice de Severidade das Secas.....	68
Quadro 6. Classificação anual dos Índices de Seca (IAC; IPN; MD) da BHRPB na escala de 1980 a 2019.....	71
Quadro 7. Classificação mensal dos Índices de Seca na escala de 1980 a 2019.....	75
Quadro 8. Identificação (ID) das espécies de Cianobactérias encontradas nos reservatórios inseridos dentro da BHRPB e a frequência de aparecimento.....	105
Quadro 9. Matriz de correlação das Cianobactérias presente no Reservatório de Boqueirão....	80
Quadro 10. Matriz de correlação das Cianobactérias presente no Reservatório de Acauã.....	82
Quadro 11. Matriz de correlação das Cianobactérias presente na Barragem de Gavião.....	84
Quadro 12. Matriz de correlação das Cianobactérias presente no reservatório de Massaranduba.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização dos Municípios que compõe a BHRPB e suas delimitações regionais de acordo como o IBGE 1989 e 2017.....	97
Tabela 2. Identificação (ID) das estações pluviométricas na BHRPB, coordenadas geográficas, latitude (°), longitude (°) e período da série temporal.....	101
Tabela 3. Identificação (ID) das estações de temperatura e URA na BHRPB, coordenadas geográficas, latitude (°), longitude (°) e período da série temporal.....	103
Tabela 4. Padrão da classificação dos Índices de Seca MD, IAC e IPN.....	66
Tabela 5. Estatística descritiva das Cianobactérias do Reservatório de Boqueirão.....	78
Tabela 6. Estatística descritiva das Cianobactérias do Reservatório de Acauã.....	81
Tabela 7. Estatística descritiva das Cianobactérias do Reservatório de Gavião.....	83
Tabela 8. Estatística descritiva das Cianobactérias do Reservatório de Massaranduba.....	84
Tabela 9. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Boqueirão em 2019.....	107
Tabela 10. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Acauã em 2016.....	108
Tabela 11. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Gavião em 2016.....	109
Tabela 12. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Massaranduba em 2016.....	110

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E NOMENCLATURAS

AA	- Aphanocapsa annulata
AI	- Aphanocapsa incerta
ACP	- Análise em Componentes Principais
AESA	- Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba
BHRPB	- Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba
BMDI	- Índice de Seca de Bhalme e Mooley
CAGEPA	- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CE	- Chuva Extrema
CF	- Chuva Fraca
CH	- Chroococcus sp.
CM	- Chuva Moderada
CR	- Cylindrospermopsis raciborskii
CO ₂	- Dióxido de carbono
DCR	- Dolichospermum crassum
DCI	- Dolichospermum circinalis
DS	- Dolichospermum solitarium
Eq	- Equação
ES	- Extremamente Seco
EU	- Extremamente Úmido
EUA	- Estados Unidos da América
GS	- Geitlerinema splendidum
IAC	- Índice de Anomalia de Chuva
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IPN	- Índice de Porcentagem Normal
IS	- Índices de Seca
ISS	- Índices de Severidade das Secas
km ²	- Quilômetros quadrado
LEA	- Laboratório de Ecologia Aquática
LRDI	- Índice de Desvio de Chuva de Lamb
MD	- Método dos Decis
mm	- Milímetros

MS	- Muito Seco
MT	- Merismopedia tenuissima
MU	- Muito Úmido
N	- Nitrogênio
NEB	- Nordeste brasileiro
P	- Fósforo
PA	- Planktothrix agardhii
PC	- Pseudanabaena catenata
PDSI	- Índice de Severidade de Seca de Palmer
PG	- Pseudanabaena galeata
pH	- Potencial hidrogeniônico
PL	- Planktolyngbya limnetica
S	- Seco
SE	- Seca Extrema
SF	- Seca Fraca
SM	- Seca Moderada
SPI	- Índice de Precipitação Padronizada
SUDENE	- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TMáx	- Temperatura Máxima
TMéd	- Temperatura Média
TMín	- Temperatura Mínima
U	- Úmido
UEPB	- Universidade Estadual da Paraíba
URA	- Umidade Relativa do Ar
VCST	- Vórtice Ciclônico Superior Troposférico
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
°C	- Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2. 1 Geral	20
2.2 Específicos	20
3 REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Variação Climática	21
3.2 Índices de Seca como Ferramenta de Gestão	23
3.3 Cianobactérias	25
4 METODOLOGIA	27
4.1 Área de Estudo	27
4.1.1 Hidrografia da BHRPB	28
4.1.2 Uso e Ocupação do Solo da BHRPB	28
4.1.3 Declividade da BHRPB	28
4.1.4 Hipsometria da BHRPB	29
4.2 Aquisição dos Dados	29
4.2.1 Coleta dos Dados Climáticos	29
4.2.1.1 Dados Pluviométricos	29
4.2.1.2 Dados de Temperatura e URA	29
4.2.2 Reservatórios e Coleta de dados de qualidade de água	30
4.2.2.1 Reservatórios	30
4.2.2.2 Cianobactérias	30
4.3 Mapeamento das Variáveis Climáticas	31
4.4 Métodos dos Índices de Seca	31
4.4.1 Método dos Decis (MD)	31
4.4.2 Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	32
4.4.3 Índice de Porcentagem Normal (IPN)	32
4.4.4 Definição de uma nova metodologia para os Índices de Seca da BHRPB	33
4.4.5 Adaptação da Classificação dos Índices MD, IPN & IAC	33
4.5 Modelagem Estatística	33
4.5.1 Preenchimento de Falhas	33
4.5.2 Estatística dos dados Biológicos	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 Hidrografia da BHRPB	36
5.2 Uso e Ocupação do Solo da BHRPB	36
5.3 Declividade da BHRPB	37
5.4 Hipsometria da BHRPB	38

5.5 Precipitação Pluviométrica.....	39
5.5.1 Precipitação Pluviométrica Alto Paraíba	39
5.5.1.1 Precipitação Pluviométrica Temporal Anual do Alto Paraíba	39
5.5.1.2 Precipitação Pluviométrica Temporal Mensal do Alto Paraíba.....	40
5.5.1.3 Precipitação Pluviométrica Espacial Mensal do Alto Paraíba	41
5.5.2 Precipitação Pluviométrica do Sub-Taperoá.....	42
5.5.2.1 Precipitação Pluviométrica Temporal Anual do Sub-Taperoá.....	42
5.5.2.2 Precipitação Pluviométrica Temporal Mensal do Sub-Taperoá.....	43
5.5.2.3 Precipitação Pluviométrica Espacial Mensal do Sub-Taperoá	44
5.5.3 Precipitação Pluviométrica do Médio Paraíba.....	46
5.5.3.1 Precipitação Pluviométrica Temporal Anual do Médio Paraíba	46
5.5.3.2 Precipitação Pluviométrica Temporal Mensal do Médio Paraíba	47
5.5.3.3 Precipitação Pluviométrica Espacial Mensal do Médio Paraíba.....	48
5.5.4 Precipitação Pluviométrica Baixo Paraíba	50
5.5.4.1 Precipitação Pluviométrica Temporal Anual do Baixo Paraíba	50
5.5.4.2 Precipitação Pluviométrica Temporal Mensal do Baixo Paraíba	51
5.5.4.3 Precipitação Pluviométrica Espacial Mensal do Baixo Paraíba.....	51
5.6 Temperatura	54
5.6.1 Temperatura Temporal Anual	54
5.6.2 Temperatura Temporal Mensal	56
5.6.3 Análise comparativa entre Precipitação e $TMéd$	57
5.6.4 Temperatura Espacial Mensal	58
5.7 Umidade Relativa do Ar	60
5.7.1 URA Temporal Anual	60
5.7.2 URA Temporal Mensal	61
5.7.3 Análise comparativa entre Precipitação e URA	62
5.7.4 URA Mensal Espacial	63
5.8 Adaptação da Classificação dos Índices de Seca a partir dos Índices do MD, IPN & IAC	65
5.9 Nova metodologia de Classificação dos Índices de Severidade das Secas da BHRPB na escala de tempo mensal e anual.....	67
5.10 Índice de Severidade das Secas	69
5.10.1 Índice de Severidade das Secas Anual.....	69
5.10.2 Índice de Severidade das Secas Mensal.....	74
5.11 Análise das Cianobactérias.....	77
5.11.1 Análise estatísticas da presença de cianobactérias nos reservatórios	77

5.11.1.1 Reservatório de Boqueirão.....	78
5.11.1.2 Reservatório de Acauã	81
5.11.1.3 Reservatório da Barragem Gavião	82
5.11.1.4 Reservatório de Massaranduba	84
5.11.2 Análise comparativa da presença de cianobactérias nos reservatórios e do Índice de Severidade das Secas	85
5.11.2.1 Correlação entre o ISS e Cianobactérias no reservatório de Boqueirão	85
5.11.2.2 Correlação entre o ISS e Cianobactérias no reservatório de Acauã	86
5.11.2.3 Correlação entre o ISS e Cianobactérias no reservatório de Gavião	86
5.11.2.4 Correlação entre o ISS e Cianobactérias no reservatório de Massaranduba	87
6. CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS	90
APÊNDICE A. Tabela 1. Localização dos Municípios que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e suas delimitações regionais de acordo como o IBGE 1990 e 2017.	97
APÊNDICE B. Tabela 2. Identificação (ID) das estações pluviométricas na BHRPB, coordenadas geográficas, latitude (°), longitude (°) e período da série temporal.	101
APÊNDICE C. Tabela 3. Identificação (ID) das estações de temperatura e URA na BHRPB, coordenadas geográficas, latitude (°), longitude (°) e período da série temporal.	103
APÊNDICE D. Quadro 8. Identificação (ID) das espécies de Cianobactérias no período de 2015 a 2019 encontradas nos 4 reservatórios proposto na pesquisa que estão inseridos dentro da BHRPB e a frequência de aparecimento.	105
APÊNDICE E. Tabela 9. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Boqueirão em 2019.	107
APÊNDICE F. Tabela 10. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Acauã em 2016	108
APÊNDICE G. Tabela 11. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Gavião em 2016	109
APÊNDICE H. Tabela 12. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Massaranduba em 2016	110

1 INTRODUÇÃO

No decorrer do último século, a humanidade vem utilizando-se de forma predatória os recursos naturais do planeta, modificando a sua configuração, para garantir a própria sobrevivência e lhe proporcionar comodidade. Tais transformações na natureza geram inúmeras consequências no mundo contemporâneo, sendo boa parte delas prejudiciais ao meio ambiente, evento verificado em múltiplos exemplos pelo uso abusivo e descontrolado dos recursos naturais, causadas pelas decisões de ações econômicas, sociais, tecnológicas e políticas (SILVA, 2015).

O Estado da Paraíba, em maior parte, está localizado na região semiárida do Brasil, possuindo um número significativo de bacias hidrográficas com características hidrogeologicamente distintas, proporcionando dificuldades econômicas e sociais recorrentes, com danos ambientais negativos relacionados principalmente a poluição e contaminação da água.

Ao longo das últimas décadas o processo de degradação ambiental se intensificou sobretudo, em diversas regiões do planeta, ocasionando o desmatamento, práticas desordenadas nos cultivos, queimadas, irrigação irregular e pela poluição por derivados químicos nos plantios que proporciona a contaminação na água, do subsolo e alterando os parâmetros físico-químicos da água. Logo, esses fatores acarretam o aumento da temperatura e na irregularidade da precipitação, colocando em risco a flora e fauna silvestre.

Como efeito dessa poluição, ocorre um fenômeno que motiva uma série de impactos negativos na qualidade da água, conhecido como eutrofização, que pode ser definido, como sendo um acréscimo das concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P) (RAMOS et al., 2016).

Assim, o uso desses ecossistemas de água doce eutrofizados, para abastecimento público em geral, podem representar um sério risco à saúde da população. A configuração urbana e a maneira como ela se desloca em direção aos mananciais, comprometem a qualidade das águas dos reservatórios, sobrepondo especialmente os problemas de poluição antrópica às alterações climáticas presentes na região.

Para melhor conhecer a variabilidade da precipitação no Estado da Paraíba é essencial ter conhecimento dos principais mecanismos físicos que provoca chuva na região. Palharini e Vila (2017) destacam alguns dos fenômenos atmosféricos que interferem de forma significativa na precipitação do Nordeste brasileiro (NEB), são os sistemas conhecidos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico Superior Troposférico (VCST),

distúrbios nos ventos alísios, linhas de instabilidade, sistemas frontais no sul de NEB e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Assim, Lima (2016) assegura que a seca é uma anomalia que não pode ser evitada e, por isso, deve-se sempre agir de forma preventiva. Em função disso, o monitoramento constante dos Índices de Seca (IS) que são índices que relaciona o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), Método dos Decis (MD) e o Índice de Porcentagem Normal (IPN) e a aplicação do sistema de classificação de secas anuais podem se constituir em uma ferramenta-chave para o planejamento e gestão dos recursos hídricos em uma bacia. Assim, o uso de IS no último século vem sendo bem empregados em diversas localidades do globo, entre eles se destaca o IAC, MD e o IPN que são abordados na pesquisa.

Além disso, assim como os IS transmite uma resposta para uma determinada localidade as variáveis ambientais como dados de precipitação, e outras variáveis físicas são fundamentais, para o monitoramento de uma região, sendo eles a temperatura mínima e máxima, logo a temperatura é uma variável importante a ser analisada pois ela determina cenários de maior evaporação e consequentemente maiores perdas de água na região, como também a proporção da Umidade Relativa do Ar (URA). Portanto, todos esses parâmetros são essenciais para estudar o comportamento do clima local e ajudar a compreender os impactos significativos, em uma escala ampla, ou em um determinado local.

O monitoramento desses parâmetros, podem ser realizados de forma regional, estadual, municipal, e/ou numa bacia hidrográfica. Logo, o estudo foi desenvolvido por meio da variação dos Índices de Seca, que será útil para diversas finalidades, dentre elas, determinar as melhores estações de semeadura, estimar a disponibilidade hídrica de água superficial e de solo, além de fornecer as autoridades de planejamento uma ideia do grau de anormalidade relativa das condições do tempo e do clima na região.

Portanto, avaliar se existe uma correlação entre os fatores climáticos, os índices de seca com a qualidade da água dos reservatórios de abastecimento são de fundamental importância no gerenciamento dos recursos hídricos, em virtude da promoção de um planejamento mais adequado para região, conforme o período do ano analisado.

Assim sendo, o intuito deste trabalho é correlaciona as variáveis climáticas (temperatura, URA e pluviosidade), através dos Índices de Seca, com a qualidade físico-química da água e o aumento/redução de florações de cianobactérias nos reservatórios públicos de abastecimento.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito existente entre a variabilidade climática (Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Pluviosidade) da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (BHRPB) e dos Índices de Seca com a qualidade físico-química da água e a presença de cianobactérias em alguns reservatórios de abastecimento público da BHRPB, no Estado da Paraíba.

2.2 Específicos

- Analisar a variação da precipitação, temperatura e URA espacialmente e temporalmente considerando a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba;
- Transcrever informações físicas da BHRPB correlacionando com os fatores climáticos da região;
- Investigar, através da utilização dos Índices de Seca, flutuações dos ciclos secos e úmidos na BHRPB;
- Desenvolver uma nova metodologia para determinação do Índice de Severidade de Secas a partir dos Índices de Seca adaptados.
- Correlacionar os Índices de Seca com a presença de cianobactérias nos reservatórios analisados;
- Proporcionar informações e tecnologias sustentáveis que possam contribuir com gerenciamento dos recursos hídricos e dos recursos ambientais na BHRPB.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Variação Climática

Os eventos extremos de precipitação pluviométrica são investigados por parte da comunidade científica internacional devido aos prejuízos socioeconômicos causados pelo excesso ou escassez de chuvas em diversas regiões do mundo (FLATO et al., 2017). A variabilidade pluviométrica é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por essa variabilidade, mesmo dentro da normalidade, pode ter representações significativas nas atividades humanas (MENEZES et al., 2015).

De acordo com Oliveira et al., (2020) um dos grandes desafios é compreender a dinâmica das chuvas sobre uma determinada área, assim como os modos de variabilidades que influenciam as precipitações torna-se um fator a ser considerado nas tomadas de decisões que envolvem essas áreas.

Sabendo-se que seus efeitos atingem de forma distinta cada localidade a partir de suas características físico-naturais e humanas, o seu monitoramento representa uma ação no combate as mudanças climáticas global, uma vez que considera as características de cada ambiente, contribuindo no âmbito do planejamento e gestão do território e na elaboração de políticas específicas adequadas (BARBOSA et al., 2016).

Os fenômenos oriundos da variabilidade climática na precipitação pluvial devido às mudanças climáticas, podem acarretar um aumento significativo de eventos extremos de períodos de secas e úmidos (COSTA et al., 2015). Logo, podem acarretar diversos impactos negativos, na natureza, nos recursos hídricos, agricultura e na saúde.

Compreender o clima urbano é fundamental, já que afeta diretamente as condições de vida da sociedade, visto que esse vem sendo alterado em função da própria dinâmica das cidades, com a crescente impermeabilização dos solos, a fragmentação ou eliminação da cobertura vegetal, os efluentes emitidos, a poluição do ar, o próprio desenho urbano, o que causam impactos climáticos locais (FERREIRA et al., 2019). De tal modo, é imprescindível um cuidado maior a partir do momento que o homem interfere na paisagem, modificando esse microclima.

Andrade e Pereira (2019) relatam que através da investigação sobre a variabilidade climática centrada em seus extremos, no caso suas anomalias, são fundamentais para se entender a dinâmica socioambiental do território, buscando planejamentos integrados mais suscetíveis ao sucesso.

O clima pode ser entendido pela interação dos elementos abióticos (relevo, precipitação, temperatura, solo e URA) e biológico (vegetação), na formação de uma determinada área.

Portanto, é necessário entender como cada componente abiótico e biótico interfere ou se correlaciona diretamente na formação do clima de cada ambiente, seja ele nos aspectos naturais ou em um construído (cidades), verificando-se assim quais modificações ocorrem naquele local. Deste modo, um dos fatores que mais intervêm no clima é a precipitação, principalmente no NEB que é irregular. Tal fator climático, pode correlacionar todos os outros fatores abióticos descritos e ajudar assim a entender como cada local se origina e tem suas particularidades.

Deste modo, o NEB é uma das regiões mais problemáticas no que se refere à disponibilidade de água, destacando-se ainda, pelo seu clima quente e úmido. Essa região conta com uma grande área semiárida, que corresponde a 53% do território nordestino, onde se destaca que as chuvas são bastante escassas e irregulares (FERREIRA et al., 2018). E pelo seu clima quente e seco, e com sua temperatura em torno de 27°C no qual abrange todos os nove Estados do NEB, deste modo as condições climáticas, a hidrologia e vegetação são de extrema importância para compreender como cada ambiente se forma (Nascimento et al., 2019).

O Estado da Paraíba se destaca como um do NEB que mais sofre uma variabilidade espaço-temporal das chuvas que interfere na biodiversidade da região. A Paraíba proporciona uma das maiores variabilidades espaço-temporal das chuvas anuais, visto que a região do estado conhecida como Cariri e Curimataú apresentam um baixo índice pluviométrico de 300 a 500 milímetros (mm), no Sertão e Alto Sertão uma precipitação em torno de 700 a 900 mm, no Brejo e Agreste, precipitações que variam de 700 a 1.200 mm e no Litoral apresenta precipitação alternando entre 1.200 a 1.600 mm (ARAÚJO, et al., 2003; FRANCISCO et al., 2015).

Nascimento et al., (2019), afirmam que esses níveis de precipitação ocorrem em maior intensidade no litoral e agreste por conta do oceano Atlântico, já o sertão recebe uma boa quantidade devido a ZCIT que fornece chuva para essa localidade, e o Cariri e Curimataú a precipitação é menor devido ao Planalto da Borborema que serve de barreira inibindo as chuvas que vem do oceano Atlântico cheguem com tanta intensidade nessa região.

Além disso, a temperatura impacta diretamente na disponibilidade hídrica da região, ou seja, quanto maior a temperatura em determinado local, menor a disponibilidade hídrica naquela região. De maneira similar, pode-se notar que a URA é um fator determinante para a qualidade hídrica de um local, isto porque compreendendo como o fenômeno se comporta, sabemos se a região está mais seca ou úmida, e assim dinamizando os aspectos presente nestes lugares.

Através dessa variabilidade na precipitação, é necessário a utilização de métodos para auxiliar nos estudos do clima, através de Índices de Secas, principalmente porque muitos deles

necessitam apenas de dados pluviométricos, outros de temperatura e URA. Desse modo, pode-se entender como ocorrem as precipitações de cada região em dado período do mês ou do ano, gerando uma resposta do regime pluviométrico contribuindo para o manejo dos recursos hídricos (SILVA FILHO et al., 2015).

3.2 Índices de Seca como Ferramenta de Gestão

A seca que pode ser classificada como: meteorológicas, as que podem ser expressas pela falta de chuvas e durabilidade da seca de um determinado ambiente. Através de um período constante, de um mês ou mais, durante o qual a precipitação está abaixo dos valores de chuva média para o período (NORONHA et al., 2016).

Deste modo, a seca agrícola é pela falta de água no solo para o desenvolvimento das plantas, no qual torna o suprimento de água às culturas insuficiente para repor as perdas por evapotranspiração. Além disso, depende também do tipo de cultura e de seu estágio fenológico, sendo que um estresse hídrico em um estágio de crescimento vai ter mais impacto sobre a planta do que em qualquer outra fase. (DUARTE et al., 2018; JUNQUERA, 2019).

Seca hidrológica, que está relacionada diretamente à falta de água no sistema hidrológico (diminuição dos mananciais), manifestando-se em escoamento normalmente abaixo do nível médio. Além disso, está relacionada com uma deficiência no volume de água disponível, incluindo lençol freático, reservatórios, aquíferos e rios (VAN LOON 2015; DUARTE et al., 2018).

Já a seca socioeconômica, se interliga a produção humana, e que se interliga diretamente com a produção agrícola. De acordo com Fernandes et al. (2009), inclui os impactos diretos e indiretos na produção agrícola e outras atividades econômicas.

Assim sendo, nas últimas décadas vem se intensificando, o uso de Índices de Seca no intuito de demonstrar métodos nas análises de chuvas, temperatura e URA. Dentre eles se destacam os seguintes métodos:

- Índice de Severidade de Seca de Palmer – PDSI (Palmer Drought Severity Index) (PALMER, 1965);
- O Índice de Anomalia de Chuva – IAC (Rainfall Anomaly Index) (ROOY, 1965); e;
- O Método dos Decis – MD (GIBBS & MAHER, 1967);
- O Índice de Seca de Bhalme e Mooley – BMDI (Bhalme & Mooley Drought Index) (BHALME & MOOLEY, 1980);

- O Índice de Desvio de Chuva de Lamb – LRDI (Lamb Rainfall Departure Index) (LAMB et al., 1986);
- O Índice de Precipitação Padronizada – SPI (Standardized Precipitation Index) (McKEE et al., 1993).
- O Índice de Porcentagem Normal – IPN (CUNHA, 2008);

Dentre os Índices de Seca mencionados destacam-se: IPN, MD e o IAC, pois esses possuem vantagens como dados de uma variável ambiental, no qual a mais empregada é a pluviosidade, o que facilita o desenvolvimento da pesquisa e análise do estudo, permitindo potencializar a utilização destes para as condições brasileiras, nas quais se tem uma grande dificuldade de obtenção de séries históricas de outras variáveis climatológicas com pelo menos 30 anos de dados (LIMA, 2016).

De acordo com Costa e Silva (2017), o monitoramento desses eventos de precipitação pluviométrica pode ser realizado através da utilização de índices de verificação climática os quais caracterizam os períodos secos e úmidos, para entender o comportamento climatológico de uma localidade, estado ou região. Logo, tais índices podem possuir respostas distintas à severidade da seca para um determinado local e posteriormente seus impactos.

O IPN é calculado simplesmente pela razão entre a precipitação acumulada no respectivo ano e a precipitação anual média de longo período, caracterizada como normal climatológica, ou seja, indica a ocorrência de seca meteorológica (NUNES & MEDEIROS, 2020).

Além disso o IPN proporciona simplicidade em seus cálculos e pode ser empregado para diferentes escalas temporais, alterando na maioria das vezes entre um mês ou um conjunto de meses até um ano. Seus efeitos, no entanto, podem ser erroneamente explicados, uma vez que os dados normais usados nos cálculos podem proporcionar variabilidade ao longo do tempo na área de estudo (NDMC, 2020).

O MD segue o raciocínio de cálculo dos quartis e percentis de uma amostra. Essa divisão em amostras é utilizada para determinar a probabilidade de ocorrência de um evento e para definir de forma qualitativa a anomalia climática (LIMA, 2016).

De acordo com Maniçoba et al., (2017) o IAC possibilita uma ótima visualização do grau de variação da chuva em torno da normal climatológica, apresentando-se como um bom indicador climático para se avaliar a variabilidade pluviométrica.

O trabalho de Nascimento et al., (2020) analisou a variabilidade da precipitação pluviométrica na microrregião do Umbuzeiro-PB no período de 1994 a 2017, utilizando o método do IAC, no qual foram possível monitorar os períodos extremos (úmidos e secos), e

evidenciar que dentre do período analisado, observou-se uma alternância entre esses anos, que assim foram plausíveis destacar que existe um equilíbrio natural naquela região.

No trabalho de Nóbrega et al., (2016), o mesmo fez uma correlação por modelos estatísticos entre a relação dos oceanos e as chuvas no NEB, com o auxílio do IAC, foi possível evidenciar que através da análise estatística sobre o oceano Pacífico e Atlântico permitiu demonstrar que há uma tendência de aquecimento e que, quando analisados isoladamente a ocorrência de anomalias positivas sobre o Pacífico leste (El Niño) e anomalias negativas sobre o Atlântico Sul (dipolo positivo), as secas são mais severas.

Portanto, o método foi empregado em diversos estudos nos últimos anos para a definição pluviométricas das secas e das características de determinada região (DINIZ et al. 2020; NERY & SIQUEIRA et al. 2020). De tal modo, destaca-se como ferramenta de gestão, pois os índices servem como parâmetros para analisar um município, região, bacia ou estado, tornando-se assim um ótimo indicador desses parâmetros.

3.3 Cianobactérias

As cianobactérias já foram conhecidas como algas azuis, estabelecendo uma divisão dentro da classificação típica de bactérias. Assim, as cianobactérias são microrganismos procariotos, fotossintetizantes e que estão presentes na maioria dos ecossistemas do nosso planeta, com aproximadamente 150 gêneros descritos, 40 estão relacionados com a produção de algum tipo de toxina (BRASIL, 2015).

A dinâmica das cianobactérias em ambientes eutrofizados está atrelada a diferentes estratégias ecológicas, as quais são conferidas a grande capacidade adaptativa que estes organismos possuem em ambientes límicos (MACHADO et al., 2016). O caso de possuírem gêneros produtores de cianotoxinas, e contribuir diretamente na saúde pública, regulariza a necessidade desse monitoramento, que tem como um dos parâmetros o pigmento fotossintetizante (TORQUATO, 2019).

De acordo com Colvara (2016) as lises celulares de cianobactérias são vistas com cautela pelas autoridades sanitárias visto que gera consequências a saúde pública, devido a capacidade de produção e liberação de toxinas (cianotoxinas) para o ambiente.

A natureza da formação de produção de toxina, torna as florações extremamente perigosas para saúde pública e para a biota aquática que apesar da existência de uma grande variedade de cianotoxinas, as microcistinas são as mais frequentemente encontradas no NEB (PALHARINI & VILA., 2016).

Portanto, são resultados da influência mútua de fatores físicos, químicos e biológicos, caracterizado especialmente pelo acréscimo da densidade de cianobactérias espalhadas geograficamente e que respondem ligeiramente às questões ambientais, acarretando mudanças nos ambientes aquáticos, como a intensidade da luz, acessibilidade ao CO₂, pH alto e baixa relação do N e P (GENUÁRIO et al., 2016; PADISÁK et al., 2016; BEHRENFELD & BOSS, 2017).

De acordo com Almeida et al., (2016) a abundância destes nutrientes, podem estar interligadas às condições climáticas da região, no qual favorece a floração de cianobactérias em águas nos reservatórios de abastecimento público. Na região semiárida brasileira, a ocorrência de cianobactérias, mais precisamente as microcistinas, ainda mais recorrente, o que certamente necessita às condições climáticas e de eutrofização dos corpos d'água que proporcionam o acontecimento e o estabelecimento dessas florações (LORENZI et al., 2018; MOURA et al., 2018).

Nos reservatórios do Estado da Paraíba, além da presença das microcistinas ocorre também algumas espécies de cianotoxinas, sendo essas as mais importantes vias de intoxicação. Também existe a exposição indireta que ocorre pelo consumo de alimentos que estejam contaminados, como peixes e/ou bivalves, que são considerados vetores de toxinas para os níveis da cadeia trófica superior (CARMICHAEL & BOYER, 2016; CRUZ, 2019).

Apesar disso, ainda existem diversas espécies de cianobactérias que causam problemas ambientais, muitas delas com alta toxicidade. Com isso, os problemas que as cianobactérias podem causar, é uma alta toxicidade no corpo de pacientes que ingerem essa água, o que prejudica o metabolismo do seu corpo.

Assim, analisar a climatologia da região aliado a composição dos índices de seca e correlacioná-los com a qualidade de água dos reservatórios proporcionará subsídios teóricos que proporcionará uma gestão mais eficiente. (MACHADO, et al., 2016; LIMA, et al., 2018).

Portanto, tem sido cada vez mais apreciada pela sociedade em geral, a maneira da conservação dos ecossistemas aquáticos, e sua disponibilidade é um fator determinante para o bem-estar humano, assim como para diversos outros manejos (GLÓRIA, 2017; OLIVEIRA et al., 2017; MESCHEDE et al., 2018.).

Portanto, no Brasil, observou-se que a menor qualidade das águas, estão em áreas metropolitanas e em alguns açudes do Semiárido quando comparados a outras regiões do país (ANA, 2019). Outrossim, torna-se necessário um gerenciamento dos recursos hídricos locais baseados nas informações dos períodos de maior e menor contribuição hídrica da área estudada.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

A área de estudo da presente pesquisa é Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (BHRPB), apresentado na Figura 1, localizada no Estado da Paraíba que de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) está entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" Sul e longitudes 34°48'35" e 37°2'15" Oeste, possuindo uma área de 20.071,83 km² e fazendo fronteiras com o Estado de Pernambuco a Oeste e a Sul com a Bacia do Rio Gramame, com o Oceano Atlântico a Leste e com as Bacias do Espinharas, Seridó, Jacu, Curimataú, Mamanguape e Miriri ao Norte.

Figura 1. Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, com relação ao Estado da Paraíba e ao Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A BHRPB é composta pelas regiões hidrográficas do Alto, Médio, Baixo Paraíba e na Sub-bacia do Rio Taperoá, havendo distinções entre elas tanto nas características naturais, quanto nas socioeconômicas principalmente no alto e médio paraíba. Além disso, é a segunda maior do Estado, pois de acordo com o IBGE 2021 abrange 38% do seu território, com uma população estimada de 1.828.178 que correspondem a 52% da população total da Paraíba.

Deste modo, em termos populacionais pode se caracterizar que a região do Baixo Curso do rio Paraíba é a mais habitada, ou seja, tal fato lhe proporciona um alto grau de urbanização. Em seguida pelo Médio Curso do rio Paraíba, e juntas, o Alto Curso do rio Paraíba e a Sub-Bacia do Taperoá, como as menores em termos populacionais.

Portanto, sendo a principal bacia hidrográfica de domínio estadual, estão incluídos os municípios de João Pessoa e Campina Grande, que são considerados os dois maiores centros urbanos do Estado, além de outros 83 municípios que estão inseridos totalmente ou parcialmente em seus domínios.

A Tabela 1 (Apêndice), apresenta todos os municípios que compõe a BHRPB, os seus itens de delimitação do território como a Microrregião e Mesorregião conforme a antiga divisão proposta pelo IBGE (1990) e com a nova atualização do IBGE para Regiões Geográficas Imediata e Intermediária no ano de 2017.

4.1.1 Hidrografia da BHRPB

A Hidrografia da BHRPB foi realizada por meio do *software ArcGIS Pro* (Licença *tassio_jordan_LearnArcGIS*), através da obtenção de *shapefiles* disponibilizadas no Geoportal AESA, no qual foi obtido os dados da drenagem principal e dos açudes do estado. Através desses dados, foi possível fazer o mapeamento da BHRPB, destacando-se assim a sua hidrografia.

4.1.2 Uso e Ocupação do Solo da BHRPB

O mapa de uso e ocupação do solo da BHRPB foi realizado por meio da classificação supervisionada no local, através das imagens de satélite do *Landsat 8* no *software ArcGIS Pro*, e foram obtidas do site <https://earthexplorer.usgs.gov/> no qual foi possível obter 3 recortes para cobrir toda a área que se encontra a bacia, assim utilizou a composição de bandas 1 *red*, 2 *green*, 3 *blue*. Logo em seguida, aplicando as técnicas de geoprocessamento, foi realizado a união dos três recortes, e em seguida feito o recorte com a delimitação da BHRPB, depois realizado os procedimentos de classificação, onde foi possível separar em seis classes, sendo elas: Água, Vegetação, Solo Exposto, Área Urbana, Nuvem e Sombra de Nuvem.

4.1.3 Declividade da BHRPB

O mapa de Declividade foi obtido por meio de imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) utilizando o *software ArcGIS Pro*, no qual foi possível baixar o mosaico do estado da Paraíba no Geoportal AESA, e posteriormente processar as informações por meio do recorte para delimitar a BHRPB, com uso do pacote *Spatial Analyst Tools* e *Classification (Quantile)* do *software ArcGIS Pro*, em seguida a esse procedimento, foi delimitado o número de classes e de acordo com a EMBRAPA.

4.1.4 Hipsometria da BHRPB

De maneira similar a declividade a hipsometria utilizou-se do mesmo método por meio de imagens SRTM no software *ArcGIS Pro*, através do recorte do mosaico, e das ferramentas para o processamento da imagem, no qual foi possível notar, as inúmeras variações de classes na área estudada, demonstrando assim a variação do terreno.

4.2 Aquisição dos Dados

4.2.1 Coleta dos Dados Climáticos

4.2.1.1 Dados Pluviométricos

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados dados pluviométricos mensais da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESPA), para composição da variabilidade espaço-temporal da precipitação das sub-bacias do Rio Paraíba de acordo com a Tabela 2 (Apêndice), além da obtenção de dados bibliográficos (internet, livros e publicações em periódicos nacionais e internacionais).

Inicialmente, com os dados de precipitação disponibilizados no período de 1980 a 2019 foram gerados gráficos (no *Excel* 2019) da variabilidade temporal da pluviometria no intuito de analisar a série histórica, onde através desses dados irá ser possível entender o comportamento da variável na BHRPB em estudo, demonstrando assim a dinâmica climática.

Logo após essa etapa, foram elaborados mapas e/ou figuras da variabilidade espacial da precipitação na BHRPB. Vale destacar que os dados pluviométricos obtidos possuem falhas de alguns meses e de até anos em alguns postos, e que foram utilizados métodos estatísticos de ponderação regional, para o preenchimento de falhas para completar as lacunas e prosseguir a pesquisa.

4.2.1.2 Dados de Temperatura e URA

Os dados meteorológicos utilizados nesse estudo foram disponibilizados por um projeto conjunto entre a Universidade do Texas (EUA) e Universidade Federal do Espírito Santo (Brasil). Os dados são de domínio público e disponível no site: <https://utexas.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>. A metodologia para a obtenção dessa base de dados é descrita por Xavier et al. (2016).

De acordo com os mesmos autores, são disponibilizadas as seguintes variáveis meteorológicas: precipitação, vento, temperatura mínima e máxima, URA e evapotranspiração. Estão dispostos em uma grade regular de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, sendo oriundos de uma reanálise e

cobrem todo o território brasileiro. Logo, para a pesquisa foram utilizados apenas os dados de Temperatura mínima e máxima e de URA.

O período amostral compreende os anos de 1980 a 2017 de acordo com a Tabela 3 (Apêndice) que foram os dados disponibilizados, neste sentido foi realizado o mesmo procedimento realizado nos dados pluviométricos. Logo, foram feitos gráficos e figuras de Temperatura Mínima e Máxima e, posteriormente os de URA, onde possibilitará entender o comportamento dessas variáveis ao longo da série histórica, podendo evidenciar assim quais municípios ou sub-bacias obtenham uma atenção maior.

4.2.2 Reservatórios e Coleta de dados de qualidade de água

4.2.2.1 Reservatórios

Os reservatórios (Quadro 1) que foram utilizados para correlacionar a qualidade físicas e químicas da água e da presença de cianobactérias com os Índices de Seca foram parte dos reservatórios monitorados pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) e AESA. São inúmeros reservatórios contidos na BHRPB, porém a escolha desses reservatórios foi devido a um monitoramento contínuo nos últimos anos no qual se obteve um banco de dados contínuo com maior relevância para o período analisado.

Quadro 1. Reservatórios da BHRPB que foram analisados.

AÇUDE	MUNICÍPIO	REGIÃO	VOLUME	ANO DE CRIAÇÃO
Barragem Gavião	Fagundes	Baixo / Médio	1.450.840,00 m ³	1981
Barragem Acauã	Itatuba	Baixo	253.000.000,00 m ³	2002
Barragem Massaranduba	Massaranduba	Baixo / Médio	604.390, 00 m ³	1884
Epitácio Pessoa	Boqueirão	Alto / Médio / Taperoá	466.525.964,00 m ³	1957

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

No estudo, como a bacia hidrográfica é subdividida em 3 regiões (baixo, médio e alto paraíba) mais a sub-bacia do Rio Taperoá, foram utilizados, um reservatório de cada uma dessas regiões para correlacionar a qualidade de água com os Índices de Seca.

4.2.2.2 Cianobactérias

Os dados de Cianobactérias foram disponibilizados pela CAGEPA através da parceria já mencionada, juntamente com dados disponibilizados pelo Laboratório de Ecologia Aquática (LEA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Portanto, foram analisados artigos, notas,

banco de dados, análises físicas e químicas dos reservatórios, além da classificação de cada espécie, já identificada nos diversos pontos de coleta, os procedimentos desses dados foram métodos de análises.

4.3 Mapeamento das Variáveis Climáticas.

Para o mapeamento, foi utilizado na pesquisa, para investigar e delimitar as variáveis climáticas (Temperatura, URA e Precipitação), com o objetivo de demonstrar o comportamento dessas variáveis na BHRPB, evidenciando a sua espacialização no decorrer dos meses, mostrando o seu comportamento na região.

Neste sentido, foram utilizados os *softwares* ArcGIS Pro (Licença tassio_jordan_LearnArcGIS), a mesma foi uma licença disponibilizada durante o período de pandemia, a estudantes e pesquisadores. Além disso, foi utilizado o Qgis (versão 3. 16. 0) e do Golden Software Surfer (versão 16.0), ambos com características distintas, porém em conjunto serviu para dá mais credibilidade na pesquisa, de maneira que as figuras fossem demonstradas com os objetivos propostos.

Além disso, no mapeamento foi utilizado o método de *Krigagem* ordinária, para gerar as figuras de espacialização em todas as variáveis físicas (Temperatura, URA e Precipitação), proposta na pesquisa. O semivariograma é a parte central dos estudos geoestatísticos, sendo capaz de descrever tanto qualitativa quanto quantitativamente a variação espacial, além de ser o ponto chave na determinação do preditor geoestatístico–krigagem.

Portanto, vale destacar que o número de postos meteorológicos encontrados para a pluviosidade foi de 81 e para a temperatura e URA foram de 85 de acordo com as tabelas 2 e 3 (Apêndices). Assim, esses postos serviram para a interpolação e a confecções das isoietas mensais no estudo.

Além disso, será produzido um mapa para posicionar os reservatórios na bacia se encontram na área em questão, destacando-se assim onde foram realizadas as análises das cianobactérias que serviram de base no estudo proposto.

4.4 Métodos dos Índices de Seca

Obtidas as séries históricas para cada posto pluviométrico que está inserido na BHRPB, foram realizados os cálculos para os três índices de seca, com o auxílio de planilhas eletrônicas do *Microsoft Excel* (versão 2019) para a organização das séries de precipitação.

4.4.1 Método dos Decis (MD)

Para o cálculo do MD agrupou-se as médias de pluviosidade para cada período (secos ou úmidos) analisado em ordem crescente e a partir da distribuição de frequência acumulada dividiu-se a série em dez partes iguais (decis). A classificação deste método foi realizada conforme Gibbs e Maher (1967) no estudo de 1980 a 2019 (média de 40 anos). Esse método permite gerar a probabilidade de eventos de um acontecimento de forma qualitativa avaliar a anormalidade climática.

4.4.2 Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

Posteriormente, foi realizada a análise da precipitação através do IAC, que avaliará como a precipitação comportou-se de 1980 a 2019 (média de 40 anos) dos períodos secos e úmidos.

A partir da metodologia de Rooy (1965) adaptada por Freitas para o NEB (2005), a análise da duração dos períodos secos e úmidos foi obtida a partir das equações (Eq) 1 e 2.

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right] \quad \text{Para anomalias positivas} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right] \quad \text{Para anomalias negativas} \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo:

N = precipitação mensal atual (mm);

$\bar{N}$ = precipitação média mensal da série histórica (mm);

$\bar{M}$ = média das dez maiores precipitações mensais da série histórica (mm);

$\bar{X}$ = média das dez menores precipitações mensais da série histórica (mm).

4.4.3 Índice de Porcentagem Normal (IPN)

Para o cálculo do IPN Cunha (2008), que expressa, em porcentagem, a razão entre a precipitação atual e a precipitação normal de 1980 a 2019 (média de 40 anos) de uma região, utilizou-se a Eq. 3.

$$IPN = \frac{P_{ATUAL}}{P_{NORMAL}} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que,

IPN = Índice de Porcentagem Normal;

PATUAL = Precipitação em um dado local (mm);

PNORMAL = Precipitação média do período analisado (mm).

4.4.4 Definição de uma nova metodologia para os Índices de Seca da BHRPB

A proposta de criação de uma nova metodologia, visa a facilidade e contribuição que os três índices em conjunto podem oferecer de maneira mais objetiva no estudo, facilitando assim por meio da criação, uma visão detalhada do comportamento da BHRPB na escala mensal e anual.

Deste modo, buscou-se avaliar esses dados por meio de métodos qualitativo, para uma classificação quantitativa, para padronizar o novo índice. Logo, o mesmo pode ser aplicado para toda a BHRPB, além de poder ser empregado em outras regiões.

4.4.5 Adaptação da Classificação dos Índices MD, IPN & IAC

Através dos métodos do MD, IPN e IAC foi proposto a nova metodologia com base numa adaptação na variação dos valores dos índices de secas citados, que possa ser condizente com a realidade do estudo, além de padronizar as classes de maneira igualitária. Logo, a utilização das classificações visou verificar a frequência dos diferentes IS quando aplicados na BHRPB.

Destaca-se que esse procedimento segue a escala de tempo, sugerida na literatura que é acima de 30 anos de dados, para determinar a intensidade dessas secas numa determinada região (SILVA et al. 2020). Assim, o estudo além de identificar os períodos de seca extrema, dará respostas aos períodos de grandes volumes de chuvas através de análises mensais e anuais.

4.5 Modelagem Estatística

4.5.1 Preenchimento de Falhas

Os métodos estatísticos serviram em vários aspectos, inicialmente para o preenchimento de falhas que possa existir nos dados pluviométricos em alguns anos nos municípios. Para este fim, foi utilizado o método da ponderação regional (Eq. 4) para estimar os valores que na série de dados estejam faltando, e assim dará mais objetividade aos resultados da pesquisa.

A escolha dos postos a serem utilizados no método de ponderação regional deve levar em consideração um intervalo mínimo de série (usualmente 30 anos), e estar em uma região climatológica semelhante.

$$PX = \frac{1}{n-1} * \left(\frac{PA}{PA_m} + \frac{PB}{PB_m} + \frac{PC}{PC_m} + n \right) * PX_m \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

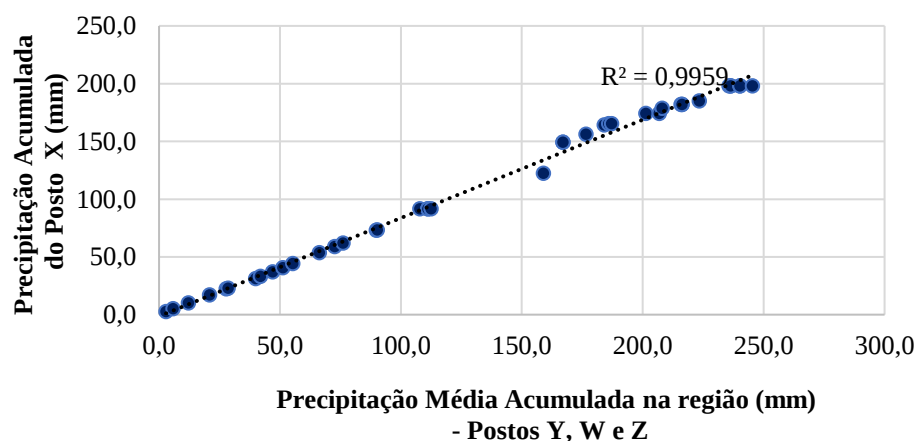
- PXm, PAm, PBm e PCm são as precipitações médias nos postos X, A, B e C, respectivamente de acordo com a série de dados disponibilizadas; de tempo referente àquele da precipitação no posto X a determinar.
- PX, é a precipitação no posto X a determinar;
- PA, PB e PC são as precipitações nos postos A, B e C existentes, respectivamente, no intervalo de tempo referente àquele da precipitação no posto X a determinar.

Este método consiste em estimar a precipitação ocorrida no posto pluviométrico com falha considerando-a adequada às precipitações em postos vizinhos, sendo o fator de proporcionalidade a função da precipitação média nestes postos, levando em consideração a precipitação média no próprio posto com falha. Este método é empregado elegendo ao menos três postos vizinhos àquele com ausência de dados, os quais necessitam estar localizados em regiões climáticas semelhante ao posto com falha.

Após o procedimento de preenchimento de falhas, foi utilizado o método da Dupla Massa (Figura 6), desenvolvido pelo *Geological Survey* (EUA). A principal finalidade do método é identificar se ocorreram mudanças no comportamento da precipitação ao longo do tempo, ou mesmo no local de observação para comprovar que os dados estão seguindo o modelo estatístico previsto de forma linear.

Logo, se os pontos de um determinado diagrama de dispersão se alinharem em uma reta aproximada (Figura 2), isso indica uma proporcionalidade entre os dados dos dois postos em questão. Assim sendo, o simples fato de se ver o R^2 próximo a 1, não é suficiente para analisar o erro, porém já determina que o coeficiente de regressão se aproxima do resultado previsto.

Figura 2. Exemplo do modelo Análise de Dupla Massa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.5.2 Estatística dos dados Biológicos

As análises estatísticas dos resultados obtidos para os parâmetros das cianobactérias e os índices de seca foram realizados por meio da aplicação dos métodos estatísticos da Análise de *Cluster*. Para a execução desses métodos, foram utilizados os *softwares Excel* (versão 2019) e *Statistica* (versão 12), respectivamente.

A tipologia foi realizada por meio da análise de agrupamentos (*clustering*), aplicando-se a estatística multivariada. A necessidade de se adotar tal procedimento emerge da quantidade de objetos de observação. Desta maneira, os esforços estiveram concentrados no agrupamento dessas unidades de similaridade, visando a representação de espécies de cianobactérias através do *clustering*.

Assim, a maneira de transcrever a análise de *clustering* é o dendrograma que é um diagrama de árvore que exhibe os grupos formados por agrupamento de observações em cada passo e em seus níveis de similaridade. O nível de semelhança é medido ao extenso do eixo vertical e as diferentes observações são listadas ao longo do eixo horizontal.

Para exibir os níveis de similaridade (ou distância), cultiva seu ponteiro sobre uma linha horizontal no dendrograma. O modelo de como a semelhança ou os valores de alcance modificam de um passo para outro pode auxiliar a indicar o ajuntamento final dos dados, esse ajuntamento pode definir se um dendrograma pode ter um ou vários *clustering*. Assim, onde os valores mudam inesperadamente podem identificar um bom ponto para definir os agrupamentos distintos ou final.

Por fim, a decisão sobre o agrupamento final também é chamada corte do dendrograma. O corte do dendrograma (quebra de ligação) é similar ao desenho de uma linha por todo o dendrograma para explicitar o agrupamento final. Além disso, em um mesmo dendrograma pode-se comparar os distintos agrupamentos finais diferentes para determinar qual agrupamento final faz mais sentido para os dados.

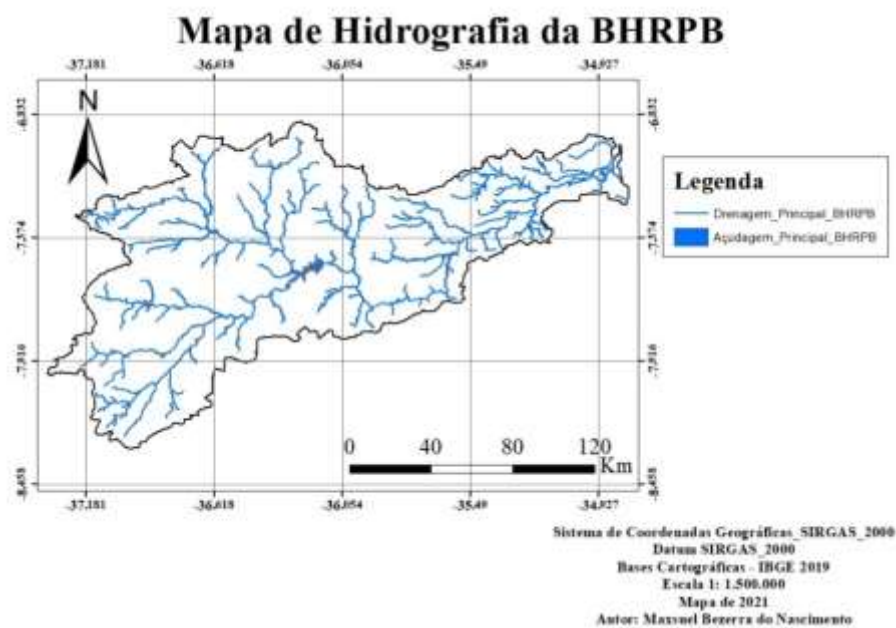
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Hidrografia da BHRPB

A Figura 3 apresenta o mapa da Hidrografia da BHRPB onde observa-se a rede de drenagem bem como os reservatórios utilizados para o abastecimento da região. Por meio do Governo Federal e Estadual, foram construídos na área da Bacia vários açudes públicos, que são aproveitados no abastecimento das populações e rebanhos, irrigação, pesca e em algumas ações de lazer e turismo regional.

Esses reservatórios são as principais fontes de água da região e nos episódios de estiagens muitos deles entram em crise, acarretando conflitos pelo uso dos recursos hídricos e graves dificuldades de ordem social e econômica, como é o caso do Açude Eptácio Pessoa em Boqueirão, o de Acauã localizado em Itatuba e o de Mares em João Pessoa.

Figura 3. Mapa da Hidrografia da Bacia Hidrográfica Rio Paraíba.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

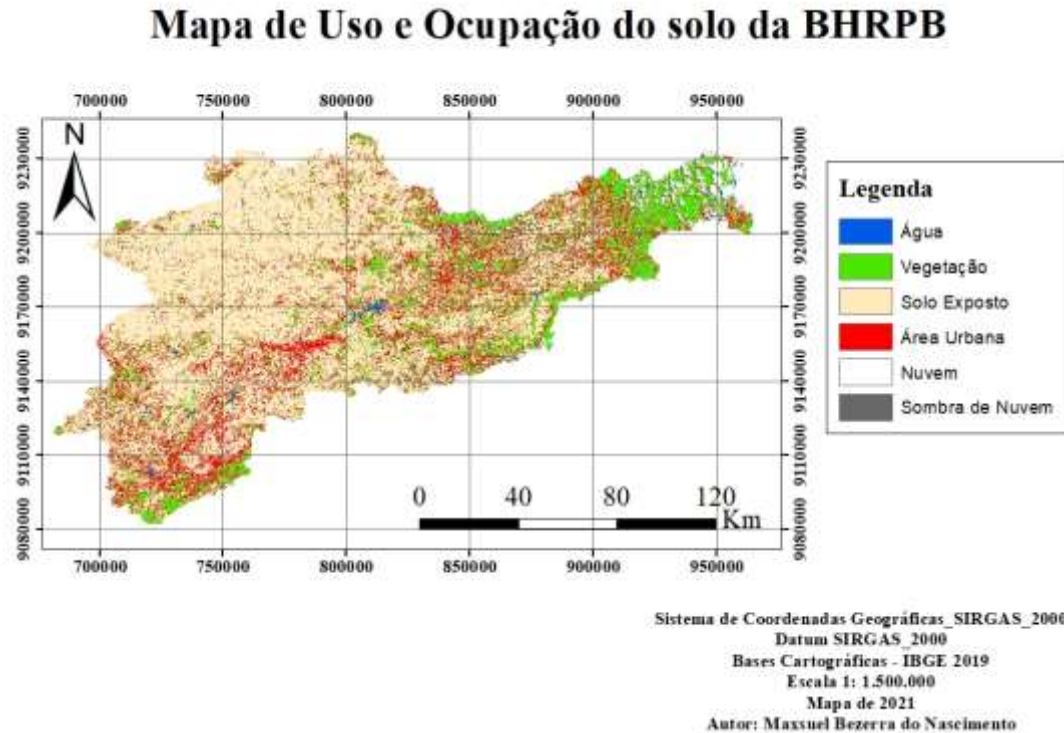
5.2 Uso e Ocupação do Solo da BHRPB

Em relação ao uso e ocupação do solo, a Figura 4 datada em dezembro de 2021 apresenta uma maior porcentagem a situação de solo exposto, principalmente na região mais a oeste e ao norte. Além disso, é possível observar a presença de vegetação mais a leste e na parte central da área estudada. Já as áreas urbanas apresentam concentrações em áreas mais restritas em fragmentos destacados no mapa.

A presença da água ocorre em pontos específicos que são os reservatórios de abastecimento, como no caso do reservatório de Boqueirão. A bacia do Rio Paraíba também é

caracterizada intensivamente pela prática da agricultura e da pecuária, contudo há também uma grande porção ocupada por vegetação remanescente.

Figura 4. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3 Declividade da BHRPB

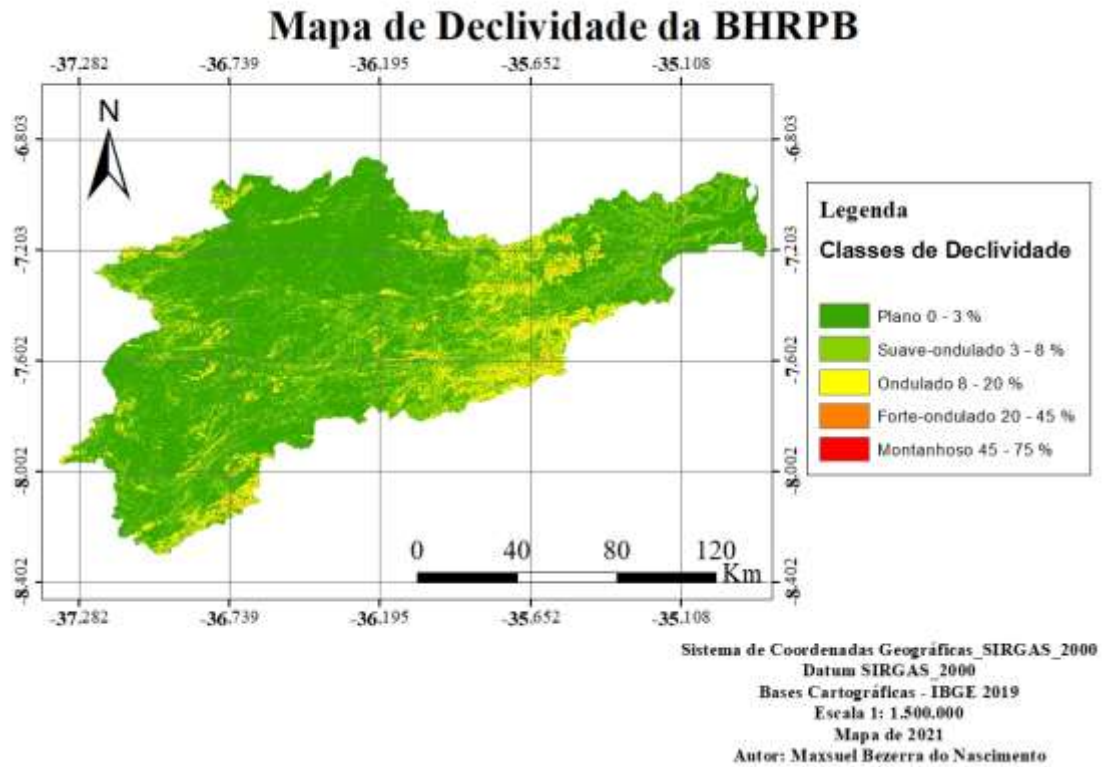
Com relação a declividade da BHRPB (Figura 5) observa-se algumas características do relevo da região. Pode-se observar que o alto curso do Rio Paraíba apresenta características de ondulado e fortemente ondulado chegando a cotas acima de 1.000 metros apresentando vegetação predominante de caatinga *hiperxerófila*, *hipoxerófila*, floresta *caducifólia* e *subcaducifólia*.

De maneira similar, a região do alto curso do rio Paraíba e a sub-bacia do Rio Taperoá possuem características de vegetação semelhantes, apresentando um relevo plano, porém com características ondulado e forte ondulado, chegando a 900 metros nas escarpas orientais presente no Planalto da Borborema.

Na região do médio curso do rio Paraíba nota-se a forte presença de uma região ondulada presente na maioria do seu território, isso ocorre devido a presença do planalto da Borborema, tornando-se assim uma área de transição, possuindo um aumento em seu declive apresentando características de relevo forte-ondulado.

Por fim, a região do baixo curso do rio Paraíba, apresenta-se como uma área mais plana e suave-ondulada, principalmente a leste, porém, mais a oeste possui uma elevação de relevo ondulado, visto que está perto da zona de transição entre a mata atlântica e a caatinga.

Figura 5. Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.



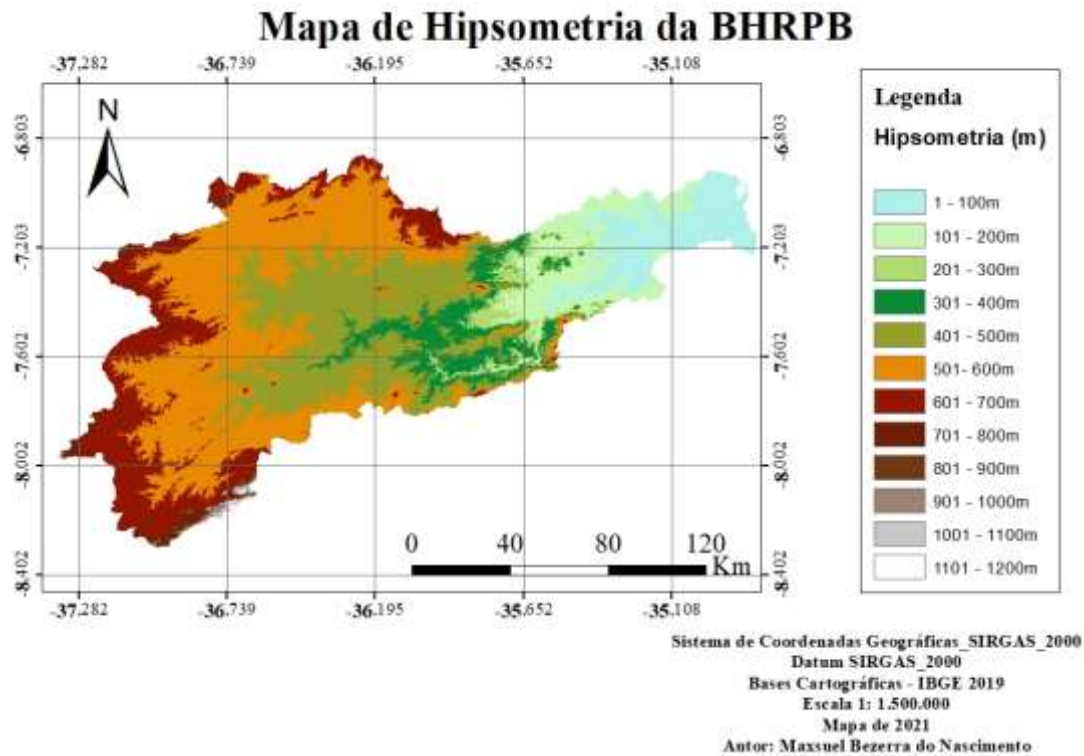
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4 Hipsometria da BHRPB

No presente trabalho foram utilizados dados do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) obtidos do Geoportal AESA (2021). As imagens de radar SRTM com resolução de 30 metros foram agrupadas em um *software ArcGIS Pro* visando estabelecer os limites da bacia do Rio Paraíba (Figura 6).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi posteriormente delimitado o que permitiu analisar a hipsometria da bacia. Assim a maior parte da bacia do Rio Paraíba está inserida no bioma da Caatinga (92%) e uma pequena parte a leste no bioma Mata Atlântica (8%) (Figura 5). Segundo os dados extraídos por SRTM, a amplitude altimétrica da bacia do rio Paraíba varia de 0 a mais de 1200 metros (MARCUIZZO et al, 2012). É possível destacar ainda, que a região litorânea fica abaixo dos 200 m e as demais regiões ultrapassam, chegando a mais de 1200 m.

Figura 6. Mapa de Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5 Precipitação Pluviométrica

A Precipitação Pluviométrica presente na BHRPB, apresenta características distintas entre as regiões do Alto, Baixo e Médio Paraíba, assim como a região da Sub-bacia do rio Taperoá. Neste sentido, cada divisão apresenta peculiaridade de valores de precipitação e variações nos períodos secos e úmidos, seja na escala mensal ou anual.

5.5.1 Precipitação Pluviométrica Alto Paraíba

5.5.1.1 Precipitação Pluviométrica Temporal Anual do Alto Paraíba

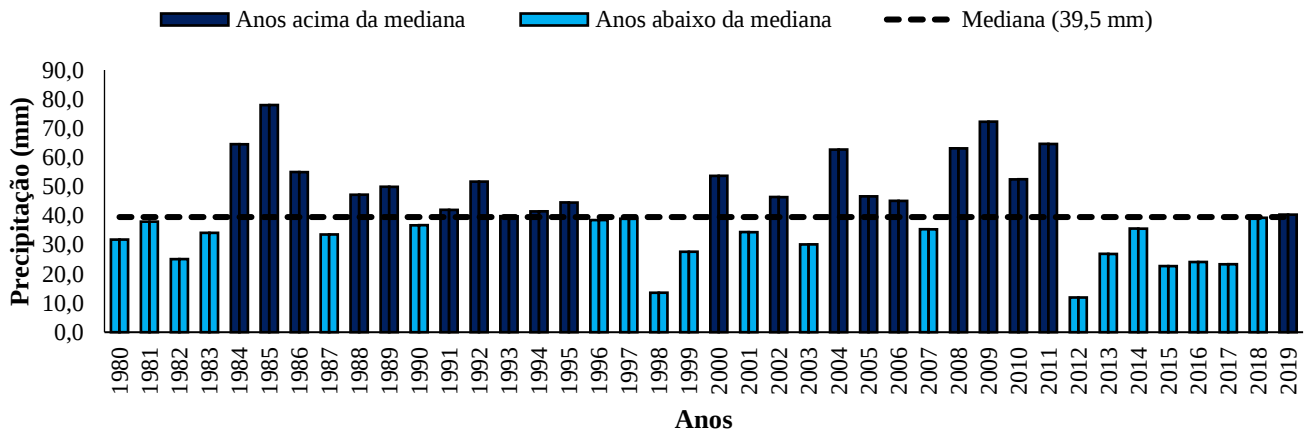
O Pluviograma Anual (Figura 7) da região do Alto Paraíba, é caracterizado por 20 anos com precipitação abaixo da mediana do período analisado, sendo de 39,5 mm. No período analisado, no ano de 2012, foi obtido o menor valor de precipitação, atingindo 11,9 mm. Além disso, pode-se observar que a maior sequência de anos considerados secos, foi de 2012 a 2018.

Por outro lado, a região do Alto Paraíba apresentou 20 anos com precipitações acima da mediana, onde para o ano de 1985, teve como o pico máximo 78 mm. A maior sequência de anos úmidos foi observada no período entre 1991 a 1995.

Deste modo, observa-se que a região analisada apresenta variações de anos secos e úmidos, e grandes variações na intensidade de precipitação entre os anos. Assim, cabe destacar

a importância dessa mesclagem de anos secos e úmidos, para manter a dinâmica dos fatores ambientais presentes na região, dos recursos hídricos e da biodiversidade.

Figura 7. Pluviograma Anual do Alto Paraíba



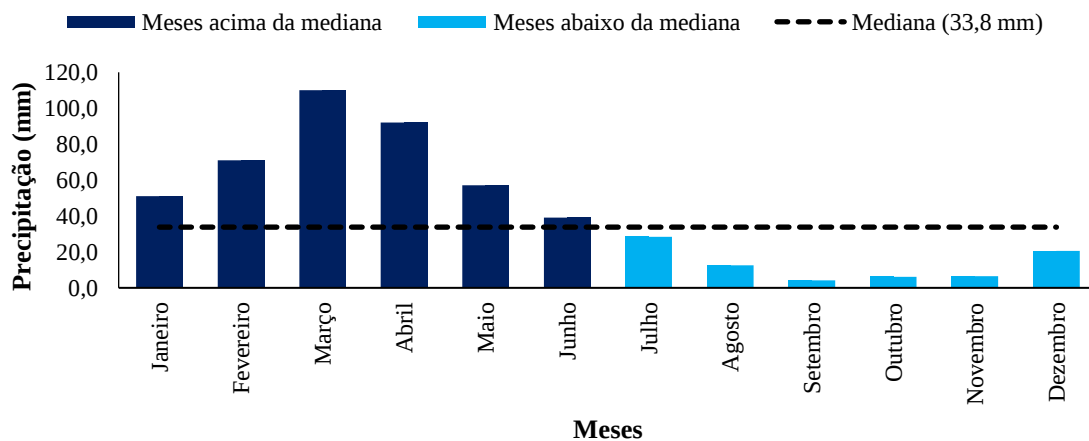
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.1.2 Precipitação Pluviométrica Temporal Mensal do Alto Paraíba

De acordo com a série histórica de 1980 a 2019, observa-se dois períodos distintos possuindo seis meses de período úmido e seis meses como período seco (Figura 8). O período úmido compreende os meses de janeiro a junho, sendo o mês de março o mais representativo, atingindo o máximo de 110,1mm. Ou seja, um valor de 76,3 mm maior que a mediana histórica.

Por outro lado, existe o período seco, compreendendo os meses de julho a dezembro, com destaque para o mês de setembro a novembro atingindo um valor 6,2 mm de precipitação, ou seja, um valor 27,6mm menor que a mediana histórica. Justamente no período seco é necessária uma gestão eficiente dos recursos para garantir o abastecimento da região.

Figura 8. Pluviograma Mensal do Alto Paraíba



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.1.3 Precipitação Pluviométrica Espacial Mensal do Alto Paraíba

No intuito de avaliar a distribuição pluviométrica no espaço, foi realizado a análise mensal das isoietas de janeiro a dezembro da região do Alto Paraíba (Figura 9), através da série histórica de 1980 a 2019.

Neste sentido, de acordo com a série disponibilizada, no mês de janeiro (Figura 9A) tem início o período úmido, apresentando os maiores valores na região oeste, com 78,7 mm e reduzindo para a região leste com apenas 29 mm. Já o mês de fevereiro (Figura 9B), apresenta os menores valores em uma pequena área da região leste com 41,6 mm, aumentando na região central ao oeste, chegando a 98,5 mm.

Os meses de março e abril (Figura 9C e 9D) são considerados os de maiores precipitações, apresentando valores entre 57 mm a 143,3 mm em toda área, sendo a menor intensidade localizada a leste e a maior ao oeste, respectivamente.

Vale enfatizar, que nesses meses de acordo com as figuras apresentadas, os gestores municipais, proprietários e agricultores consigam elaborar estratégias para um abastecimento eficiente, para que nos meses de maior dificuldade em disponibilidade hídrica esses meses de maior aporte hídrico supra essas necessidades. Além disso, é plausível constatar que nesses meses, os reservatórios têm um aumento no seu volume, as produções agrícolas têm uma elevação na produção, e a flora consegue prosperar.

Os meses de maio e junho (Figura 9E e 9F) que apresentam variação entre 26 mm na região leste e 85 mm a oeste, destacam-se por serem os meses cuja precipitação proporcionam a recarga dos mananciais, e o desenvolvimento das demais atividades locais, destacando-se ainda, o mês de junho e julho (Figura 9F) como os meses de transição entre o período úmido para o seco.

Tal transição do período úmido para o seco, se inicia no mês de julho (Figura 9G) no qual é possível constatar uma diminuição nos valores precipitados em boa parte da região do Alto Paraíba. Os maiores valores de precipitação estão especializados, sendo a região leste e oeste com 50 mm, a região central e sul sofre uma redução, com valores de apenas 15 mm, se tornando assim as mais seca.

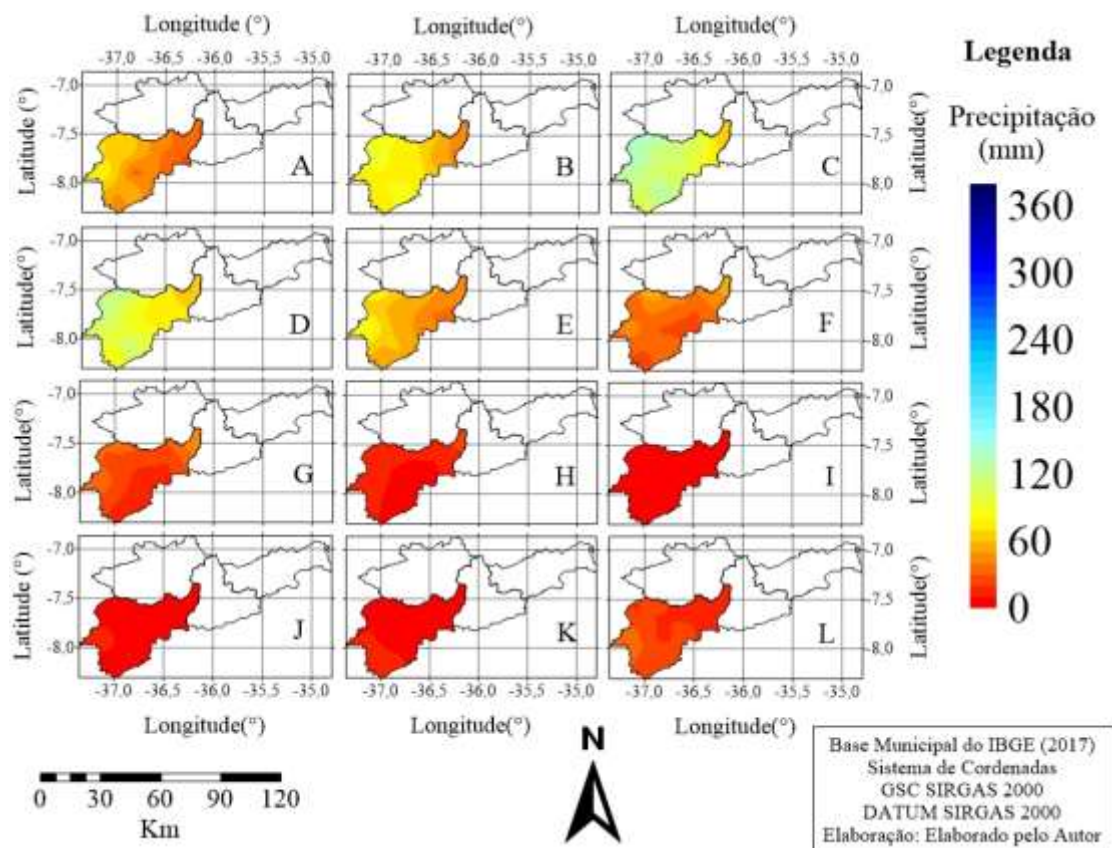
Logo, os meses de menores precipitações, considerados bem abaixo da mediana, compreende o período de agosto a novembro (figura 9H, 9I, 9J e 9K). nesses meses a precipitação atinge o máximo de 23 mm em algumas áreas da sub-bacia, e em sua maior parte, alcançam apenas 1 mm. Portanto, em meses como esses é necessário toda atenção e planejamento para a região, além de políticas públicas para o abastecimento dos municípios,

através de cisternas, carros pipa e uma boa gestão dos recursos presentes nos reservatórios da região do Alto Paraíba.

Além disso, nesses meses a taxa de evapotranspiração é maior, assim como a temperatura, o que podem ocasionar em conjunto perda da fertilidade do solo, redução da produção agrícola e perda de rebanhos. Neste sentido, podem agravar na diminuição de água nos reservatórios, o que pode ocasionar uma maior contaminação e elevação de florações de cianobactérias, algas e demais micro-organismos.

Por fim, o mês de dezembro (Figura 9L) é o último mês do período seco, e assim o de transição para o úmido, mês de grande impacto e decisivo para os da estação chuvosa que se inicia posteriormente, nota-se que em algumas áreas seus valores aumentam de leste a oeste com valores de 11 a 36 mm respectivamente.

Figura 9. Isoietas médias mensais da Pluviometria do Alto Paraíba de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.2 Precipitação Pluviométrica do Sub-Taperoá

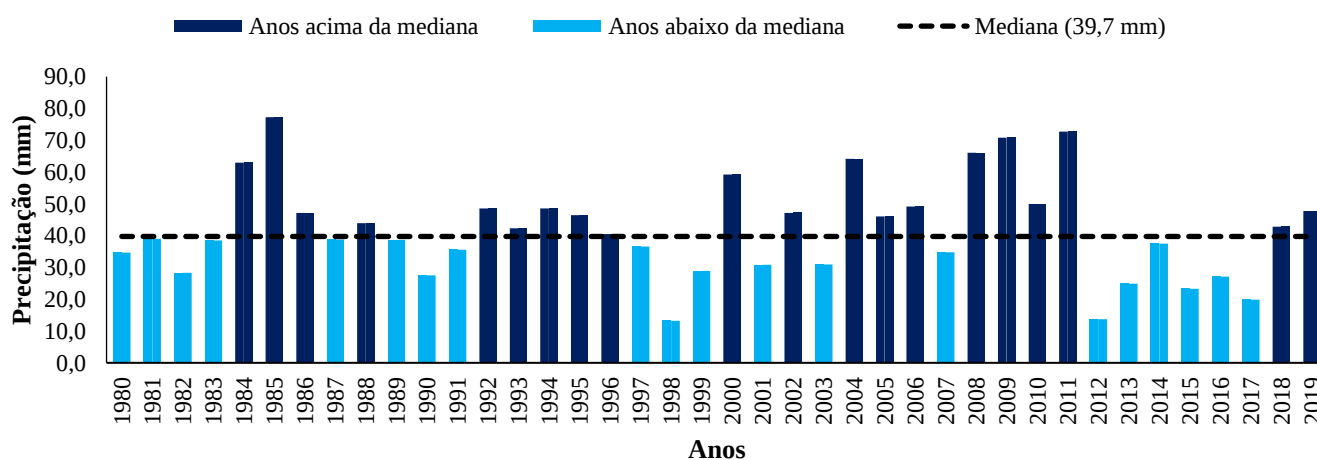
5.5.2.1 Precipitação Pluviométrica Temporal Anual do Sub-Taperoá

Logo, o Pluviograma Anual (Figura 10) da Sub-bacia do Taperoá, apresenta 20 anos abaixo da mediana, cujo valor é de 39,7 mm, o ano de 1998 possui a menor precipitação atingindo 13,3 mm. Os anos que apresentaram uma sequência de baixas precipitações compreende o período de 2012 a 2017.

O período úmido da Sub-bacia também apresenta pluviometria de 20 anos acima da mediana, sendo o ano de 1985 como o de maior valor precipitado na série analisada, com precipitação de 77,3 mm. Já, a série de anos com uma maior sequência de precipitação corresponde ao período entre 1992 a 1996.

Portanto, por meio dessas variações entre períodos secos e úmidos, ocorre um benéfico a região, uma vez que, em series históricas, sendo elas longas ou curtas, possuem a necessidade de ter alternâncias sem um desvio alto entre os pontos analisados, consequentemente, beneficia toda ambiente natural, como também, as atividades antrópicas e disponibilidade hídrica na região.

Figura 10. Pluviograma Anual da Sub-Bacia do Taperoá



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

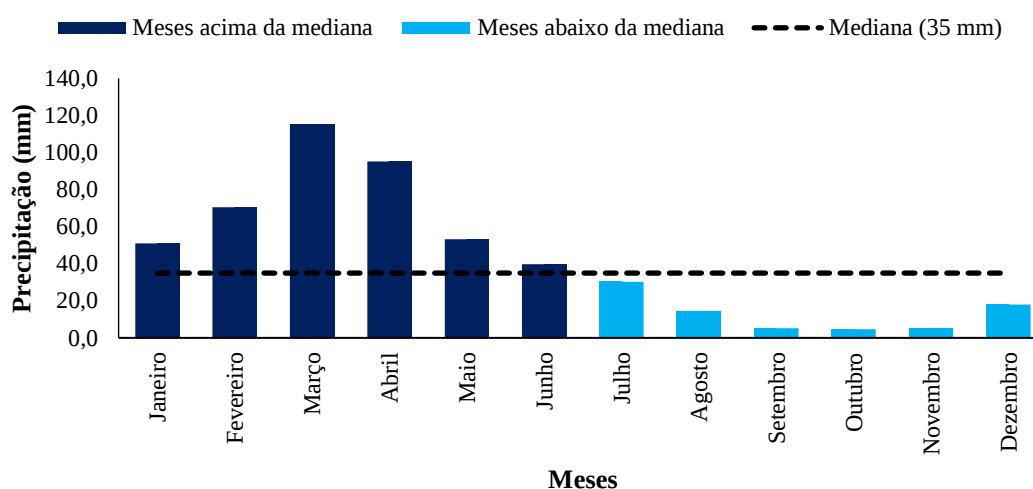
5.5.2.2 Precipitação Pluviométrica Temporal Mensal do Sub-Taperoá

Para o pluviograma mensal da Sub-bacia do Taperoá foi realizado o mesmo procedimento que as demais regiões do alto, baixo e médio Paraíba por meio da série histórica de 1980 a 2019. Também pode-se observar dois períodos distintos concentrados em seis meses úmidos e seis meses secos (Figura 11).

O período úmido, compreende o período de janeiro a junho, sendo o mês de março o de maior valor em volume precipitado, com 115,4 mm, ou seja, 80,4 mm maior que a mediana histórica que é de 35 mm.

O segundo período, caracterizado como seco, compreende o período de julho a dezembro, destacando os meses de setembro e novembro, que apresentaram precipitações inferiores a 10 mm, atingindo apenas 5,3 mm, um valor de 29,7 mm menor que a mediana histórica da Sub-bacia.

Figura 11. Pluviograma Mensal da Sub-Bacia do Taperoá



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.2.3 Precipitação Pluviométrica Espacial Mensal do Sub-Taperoá

Nas isoietas medias mensais da pluviometria da Sub-bacia do Taperoá (Figura 12), correspondente a série histórica de 1980 a 2019, é possível verificar a intensidade do comportamento das chuvas ao longo dos meses de janeiro a dezembro em toda sub-bacia.

Assim, o mês de janeiro (Figura 12A), é o início do período úmido, onde é possível observar os menores valores encontrados de precipitação localizados a leste com 25,7 mm e apresentando um aumento no sentido a oeste chegando a 87,1 mm sendo a área mais úmida do estudo. O mês de fevereiro (Figura 12B), tem um aumento nos valores precipitados variando de 34,8 mm na mínima e a máxima de 107,2 mm de leste a oeste respectivamente.

Os meses de março e abril (Figuras 12C e 12D), são os meses com maiores volumes precipitados na Sub-bacia. Nota-se que toda a área apresenta precipitações acima da mediana, com valores variaram de 52 mm a 167 mm, de leste a oeste, sendo a parte central apresentando precipitações entre 80 a 100 mm. Portanto, são meses considerados de extrema importância

para a região em níveis pluviométricos, visto que as chuvas nesses meses proporcionam um aumento no volume dos reservatórios e rios, ajuda na produção agrícola e na biodiversidade existente na região.

Diante disso, a aplicação de um gerenciamento adequado dos recursos hídricos e uso do solo nessa região promoverá benefícios a população. obras estruturantes podem ser realizadas para esse fim, como a adoção de uma política para construção de cisternas, dentre outras práticas. Por outro lado, as chuvas em excesso, com grandes intensidades, nesses meses podem trazer impactos, como alagamentos em alguns pontos dos municípios, além de causar desastres naturais em pequena escala.

Os meses de maio e junho (Figuras 12E e 12F), apresentam os seguintes valores de precipitação, 22 mm a 90 mm respectivamente, sendo a região leste o de menor volume e oeste o de maior. Além disso pode-se destacar que o mês de junho (Figura 12F) é o mês de transição do período úmido para o seco, o que já apresenta pluviometria em boa parte da região abaixo da mediana.

O mês de julho (Figura 12G), é o início do período seco da Sub-bacia do Taperoá, sendo assim o de transição no qual é possível observar que os volumes precipitados já apresentam uma queda no seu volume, sendo as regiões leste com o maior volume precipitado de 53 mm, a região central com 25 mm e pequenas áreas a norte com apenas 15,9 mm. Já o mês de agosto (Figura 12H), apresenta precipitações abaixo da mediana, no qual a parte leste chega a 27 mm e o restante da região com 4 mm de precipitação.

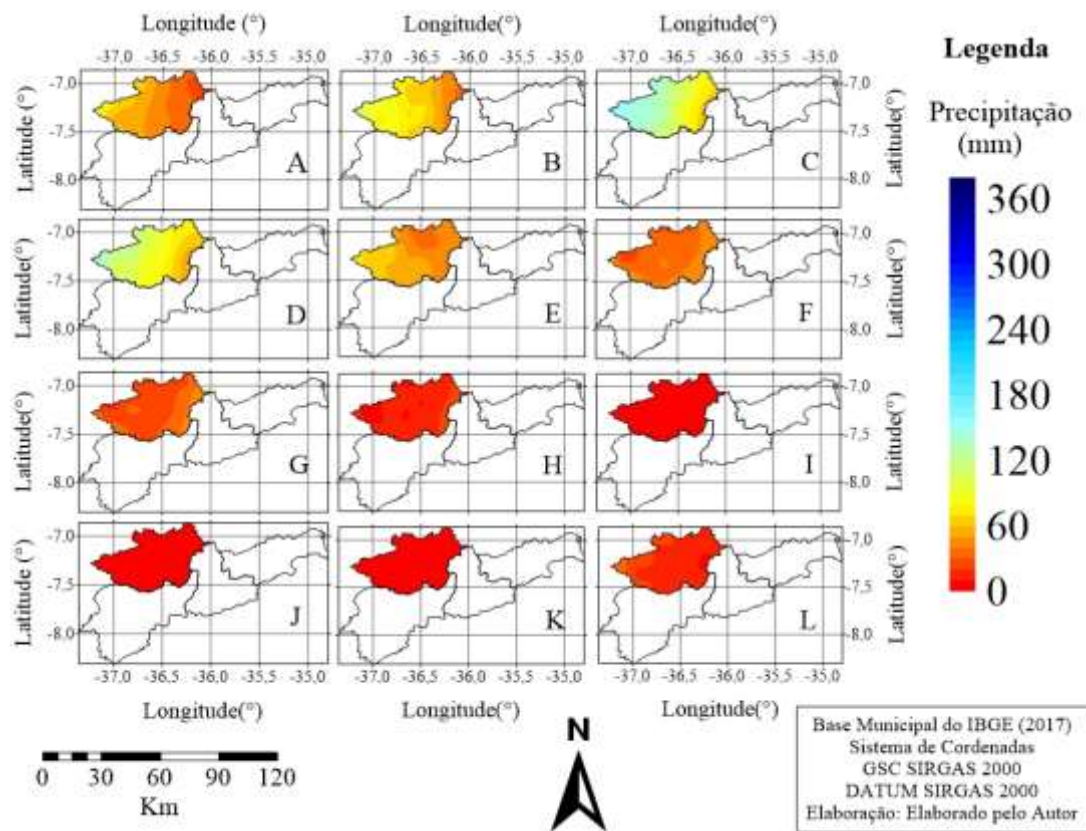
Diante desse cenário, os meses que apresentam volumes de precipitação abaixo de 15 mm, são os meses de setembro a novembro (Figuras 12I, 12J e 12K). NESSES meses, as máximas precipitações atingiram 14 mm (Figura 12I), 9 mm (Figura 12J) e 12 mm (Figura 12K), sendo esses os meses considerados secos.

Assim, a elaboração de projetos que contenham e armazenem os recursos hídricos é de extrema importância para a manutenção das atividades locais nesses meses, além da preservação da biodiversidade. Portanto, é admissível a conscientização da comunidade para administrar e poupar esse recurso natural em todo o ano, para que não padeçam nos momentos de carência no período seco, além de políticas públicas e ambientais promovidas pelos gestores municipais.

Por fim, o mês de dezembro (Figura 12L), é o último mês do período seco, e o de transição para a estação. Nesse mês, a região que mais chove é o oeste com 38 mm e apresenta redução em sentido leste com apenas 8 mm, onde já é possível observar um aumento com relação a mediana, na máxima precipitada.

Na análise da sub-bacia do Taperoá, observa-se que seu comportamento é semelhante a sub-bacia do Alto Paraíba, mostrando assim que os sistemas ambientais e suas características são as mesmas atuando no local. Cabe ressaltar que essa é a região do Estado da Paraíba mais crítica em termos de precipitação, pois é o local, intitulado Cariri Paraibano, região essa de menor chuva em toda região.

Figura 12. Isoietas médias mensais da Pluviometria da Sub-Bacia do Taperoá de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.3 Precipitação Pluviométrica do Médio Paraíba

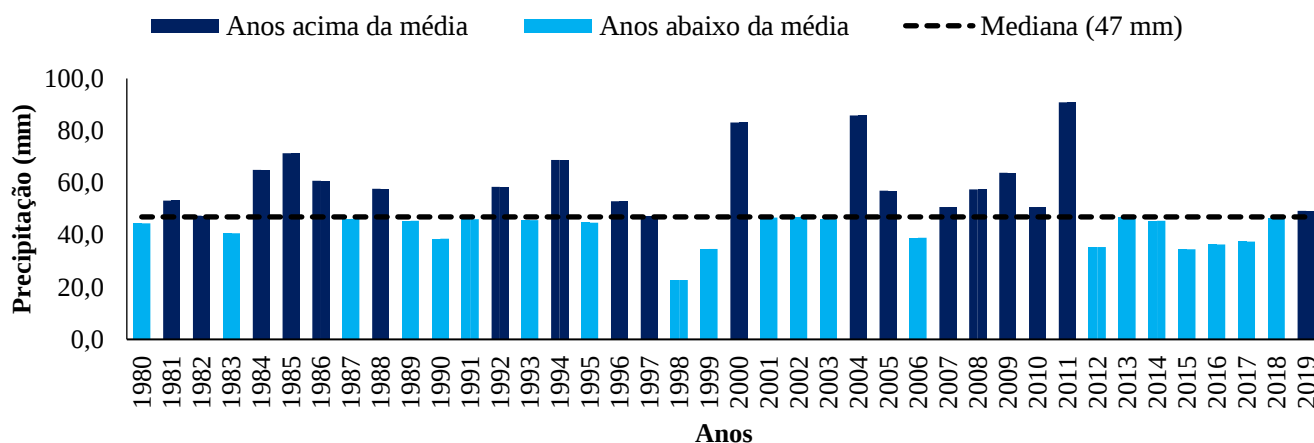
5.5.3.1 Precipitação Pluviométrica Temporal Anual do Médio Paraíba

Já a pluviometria anual (Figura 13) da região do Médio Paraíba, apresenta 21 anos abaixo da mediana da série analisada, sendo o valor de 47 mm. O ano de 1998 possui a menor intensidade de chuva na área estudada, atingindo 22,8 mm. Constata-se ainda, que a sequência de anos secos se estende por um período maior, compreendendo os anos de 2012 a 2018.

Todavia, o período úmido da região se configura com 19 anos acima da mediana, possuindo o ano de 2011 como o de maior valor pluviométrico na série analisada com um valor de 90,9 mm. Contudo, o período de anos com maior intensidade de chuva foi de 2007 a 2011.

Deste modo, através dos resultados observados é possível constatar ainda que a região do Médio Paraíba, apresenta alternância entre os ciclos secos e úmidos, todavia em seus resultados nota-se que a um leve desvio para uma maior quantidade de anos secos. Assim, essas mudanças nos períodos em questão dinamiza a estruturação da região, afetando diretamente nos recursos hídricos, na qualidade de vida da população pelo benefício da água, na produção agrícola e na de animais presente nesta área.

Figura 13. Pluviograma Anual do Médio Paraíba

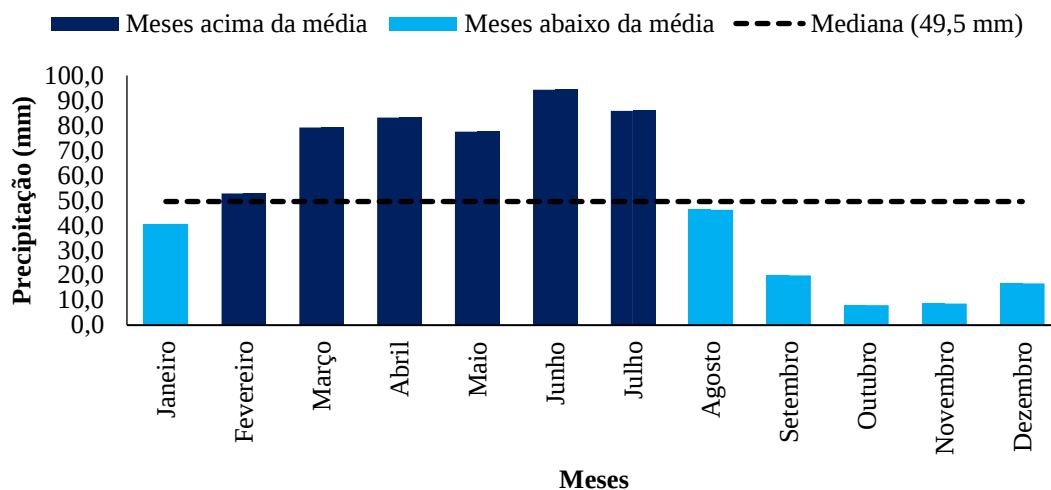


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.3.2 Precipitação Pluviométrica Temporal Mensal do Médio Paraíba

Em relação a pluviometria mensal do médio paraíba na série histórica da região que vai de 1980 a 2019, da mesma foram que as demais, apresenta dois períodos com seis meses em cada (Figura 14). O primeiro período é qualificado como úmido, compreendendo os meses entre fevereiro a julho, sendo junho o mês de maior representatividade em volume precipitado, atingindo 94,3 mm respectivamente, ou seja, 44,8 mm maior que a mediana histórica que é 49,5 mm.

Já a segunda estação presente, é caracterizada como período seco, que tem início em agosto e se desdobra até janeiro, destacando os meses de outubro e novembro que alcançam no máximo 8,7 mm, ou seja, 40,8 mm menor que a mediana histórica. Assim, por meio do conhecimento dessas estações secas e chuvosas, pode se planejar ações que visem o desenvolvimento da região, através de políticas públicas voltadas para o planejamento ambiental, e dos recursos hídricos presente na área.

Figura 14. Pluviograma Mensal do Médio Paraíba

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.3.3 Precipitação Pluviométrica Espacial Mensal do Médio Paraíba

No intuito de avaliar as isoietas medias mensais da pluviometria da região do Médio Paraíba de janeiro a dezembro (Figura 15), é possível verificar o comportamento no espaço desta área ao longo dos meses, no período de 1980 a 2019.

Deste modo, o mês de janeiro (Figura 15A) no período analisado, é caracterizado como o mês de transição para a estação chuvosa, sendo assim o último mês do período seco, no qual é possível destacar que os valores de precipitação variam de 25,8 mm a 60,6 mm sendo a área mais seca a norte e com maior volume precipitado a leste.

O mês de fevereiro (Figura 15B) é o mês que inicia o período úmido da região do Médio Paraíba. Destaca-se que os valores encontrados foram de 34 mm sendo a parte mais seca ao norte, oeste e sul, e os maiores volumes precipitados foram a leste e nordeste chegando a 77,3 mm. Os meses entre março e maio (Figuras 15C, 15D e 15E) apresentam resultados semelhantes entre os volumes precipitados em seus extremos mínimos e máximos, com pouca variação, sendo os valores precipitados de 35 mm a oeste e noroeste, 85 mm na parte central, chegando a 140 mm a leste

Os meses de junho e julho (Figura 15F e 15G), são considerados os de maiores precipitações, porém ocorre de forma desigual, onde é possível observar uma maior concentração na região leste com valores acima de 150 mm, no mês de junho 180 mm e 158 mm no mês de julho. por outro lado, de leste a oeste essa precipitação vem diminuindo chegando a 24 mm na parte oeste, e na parte central fica em média entre 60 a 80 mm.

Portanto, nestes meses nota-se algumas peculiaridades. mesmo no período úmido, é notório regiões da sub-bacia como a parte oeste apresentando precipitações bem a abaixo da mediana da região, o que acarreta impactos pela pouca disponibilidade precipitada. por outro lado, a parte oeste tem um elevado índice de chuvas, o que de certa forma ajuda no equilíbrio hídrico e a suprir a necessidade existente.

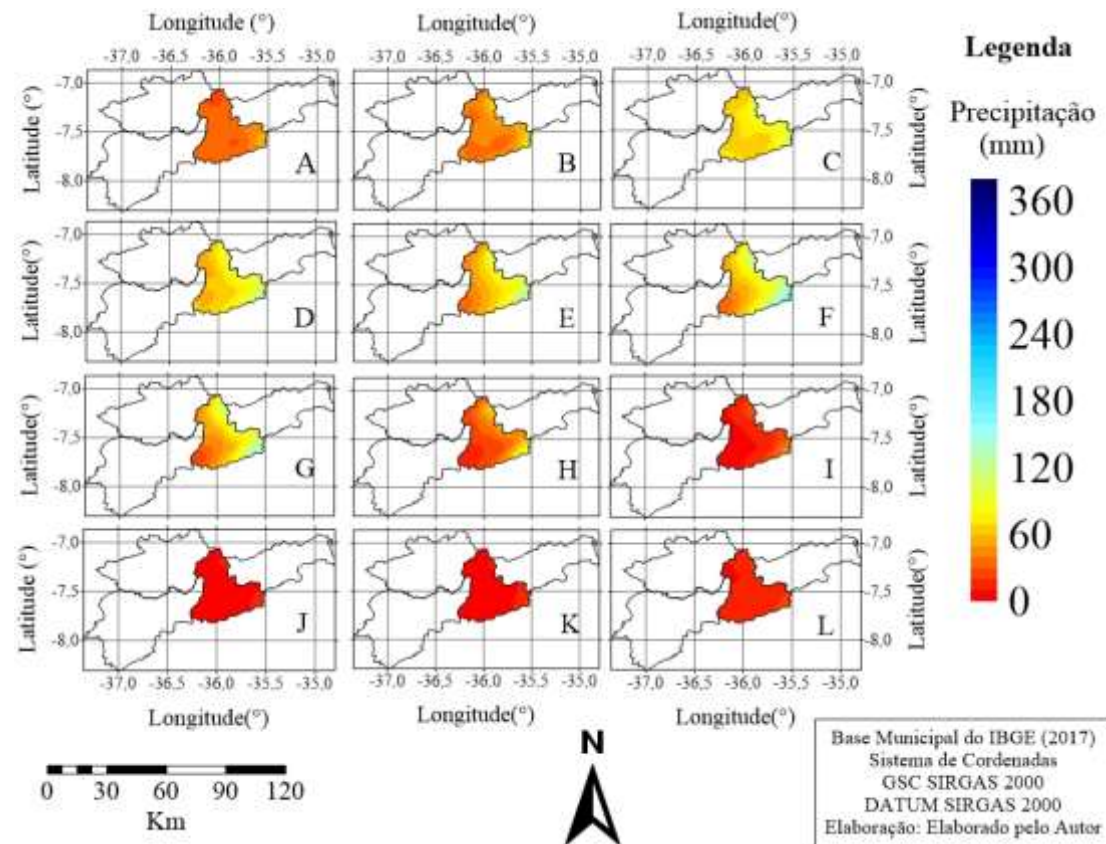
O mês de julho (Figura 15G) é o último mês do período úmido, sendo o de transição para a estação seca. Logo, agosto (Figura 15H) inicia a estação seca no Médio Paraíba, no qual apresenta valores de precipitação entre 95 mm em uma pequena parte a leste, uma diminuição a oeste que precipita apenas 11 mm, sendo a parte central, ficando em torno da mediana. Já setembro (Figura 15I), a pluviosidade representada no espaço evidencia que a região tem o seu máximo de 50 mm em pequena parte a leste, e na parte central entre 20 mm e apenas de 3 mm a oeste.

Assim, de acordo com a serie estudada, os meses considerados secos foram de outubro a dezembro (Figuras 15J, 15K e 15L), no qual chegaram a no máximo 22 mm em outubro, 24 mm em novembro e 27 mm em dezembro respectivamente na parte leste, e em na maior parte da região com precipitações abaixo de 5 mm.

Através desses resultados, observa-se que esses meses são considerados de extrema necessidade, para a região do Médio Paraíba, principalmente a parte oeste que vem sofrendo com as poucas chuvas em todos os meses. Todavia, um planejamento adequado nos meses anteriores, ajudara a suprir o conflito que pode ocorrer na região como o déficit hídrico, que de toda forma irá ocorrer, entretanto em menor intensidade.

Deste modo, se não forem realizadas essas prevenções, estes meses vão sofrer com os impactos, assim as secas extremas, provocara a falta de produtividade do solo, de vegetação, animais, mananciais eutrofizados e rios intermitentes por meses. Assim, é cabível a conscientização da população da região do Médio Paraíba para economizar e preservar esse bem natural em toda época, para que não sofram nos períodos de escassez nestes meses, além de políticas públicas e ambientais promovidas pelos gestores municipais.

Figura 15. Isoietas médias mensais da Pluviometria do Médio Paraíba de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

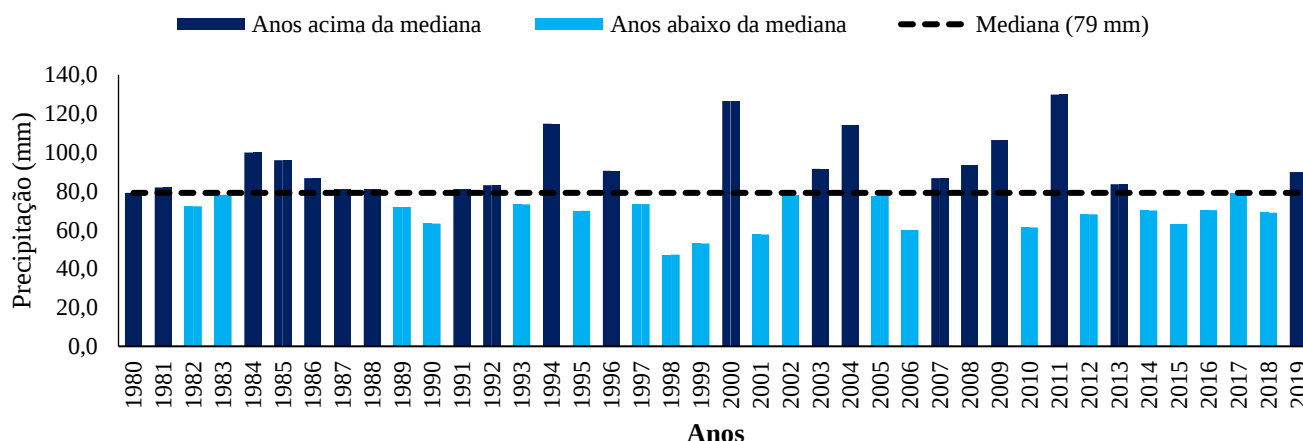
5.5.4 Precipitação Pluviométrica Baixo Paraíba

5.5.4.1 Precipitação Pluviométrica Temporal Anual do Baixo Paraíba

A análise pluviométrica anual (Figura 16) da região do baixo paraíba apresenta 20 anos abaixo da mediana no período analisado, sendo esse valor de 79 mm. o ano de 1998 foi o de menor valor em níveis pluviométricos apresentando 47,2 mm. além disso, a sequência de anos secos, foram de 2014 a 2018.

Além disso, a região do Alto Paraíba também obteve 20 anos acima da mediana da pluviosidade, havendo o ano de 2011 como o de maior valor pluviométrico na série em questão chegando a 129,9 mm. Deste modo, pode enfatizar ainda que nesse período a maior sequência de anos úmidos foram entre 1984 a 1988.

Nota-se ainda que na região do Baixo Paraíba a sequência histórica foi semelhante para os períodos secos e úmidos, caracterizando assim uma alternância entre seus anos, o que é importante em series curtas ou longas, o que beneficia direto ou indiretamente, todas as atividades locais, recursos hídricos e a qualidade de vida da biodiversidade.

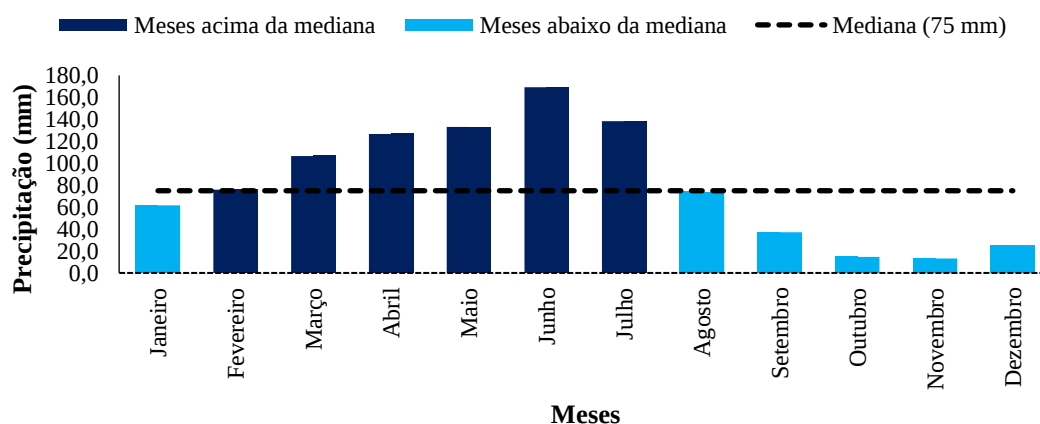
Figura 16. Pluviograma Anual do Baixo Paraíba

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.4.2 Precipitação Pluviométrica Temporal Mensal do Baixo Paraíba

A pluviometria mensal correspondente a série histórica de 1980 a 2019, apresentou dois períodos distintos, com seis meses para cada (Figura 17). um período caracterizado como úmido, compreende o período de fevereiro a julho, sendo junho o mês mais representativo em volume precipitado, atingindo 169,3 mm respectivamente, ou seja, 94,4 mm maior que a mediana histórica, que é 74,9 mm.

Em contrapartida, existe o período seco, que tem início em agosto, e se estende até janeiro, destacando os meses de setembro e outubro que atingem o valor máximo de precipitação de 14,7 mm, ou seja, 60,2 mm menor que a mediana histórica.

Figura 17. Pluviograma Mensal do Baixo Paraíba

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.4.3 Precipitação Pluviométrica Espacial Mensal do Baixo Paraíba

Por meio da análise espacial, na obtenção de isoietas médias mensais da pluviometria da região do Baixo Paraíba de janeiro a dezembro (Figura 18), foi possível verificar o comportamento ao longo dos meses no período histórico de 1980 a 2019.

O mês de janeiro (Figura 18A) é o último mês do período seco da região, sendo assim o de transição para a estação chuvosa, no qual é possível observar que as menores precipitações que os menores se encontram a oeste e na parte central com 40 mm. Já, a região leste é a que apresenta as maiores precipitações com valor de 103,6mm

O início do período úmido se inicia em fevereiro (Figura 18B), no qual é possível destacar que os maiores valores de precipitação são encontrados a leste da sub-bacia com 116,6 mm e vem reduzindo em direção a região oeste, cujos valor de precipitação é de 55,6 mm. assim, os meses de março e abril (Figura 18C E 82D), em quase toda a região do baixo paraíba, apresenta precipitação acima da mediana, com precipitações variando de 73 mm em uma pequena área central e 115 mm a oeste e com maiores valores a leste, chegando a 250 mm.

Os meses de maio e junho (Figura 18E e 18F), são considerados os de maiores precipitações para a região leste, variando entre 200 e 300 mm. Vale destacar ainda que o mês de junho (Figura 18F), quase toda região do Alto Paraíba está acima dos 250 mm, e seus menores valores na parte central está em 88 mm, ficando assim acima da mediana da área estudada.

Assim sendo, é plausível evidenciar que nesses meses de uma distribuição espacial de chuvas acima de 200 mm para muitas áreas, pode ocorrer tanto benefícios através de uma alta produtividade de monoculturas da região, elevação dos níveis de reservatórios, o que abastecera de forma constante os municípios presentes, e o que possibilita a retirada do mesmo para áreas de menor valores precipitados. Por outro lado, pode ocasionar prejuízos como alagamentos em grandes centros urbanos, sangramento de reservatórios, aumento de sedimentos nos rios, perca de algumas culturas pelo elevado níveis de chuvas.

Logo, o mês de julho (Figura 18G) é o último mês do período úmido, e assim o mês que faz transição para o período seco da região estudada. Observa-se áreas com precipitações acima de 290 mm a leste e de 200 mm a oeste, e seus menores valores foram obtidos na região central com 74 mm. Assim, como os meses anteriores, é de grande contribuição para a região do Baixo Paraíba, principalmente a leste, no qual está acima de 250 mm.

O mês de agosto (Figura 18H) é o início do período seco da região do Baixo Paraíba, é possível observar uma alta pluviosidade na parte leste, com precipitações da ordem de 155,3 mm, ocorrendo uma redução em grandes áreas centrais e na região oeste para 80 mm, e as mais secas no centro da região com 34 mm. Já o mês de setembro (Figura 12I), a precipitação vem

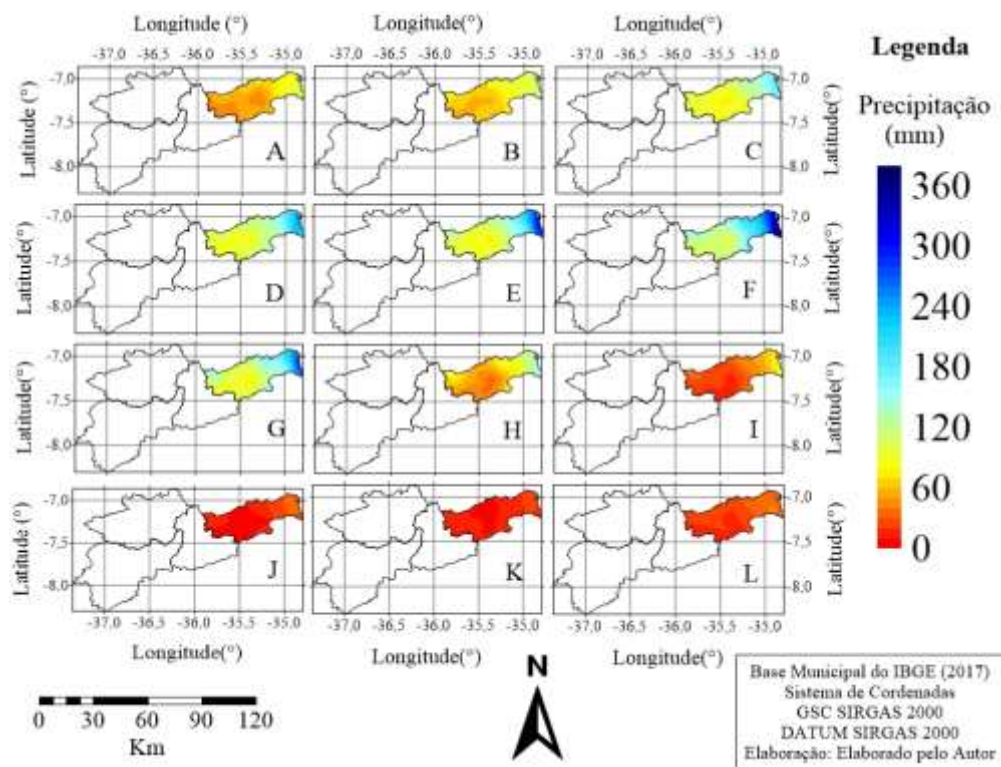
reduzindo gradativamente de leste a oeste, variando de 82 mm a 40 mm, e na parte central a norte chegando a 12 mm, sendo neste caso a área mais seca.

Os meses mais secos constatados foram outubro e novembro (Figuras 18J e 18K), no qual os maiores valores precipitados foram de 35 mm e os menores valores na maioria da região do Baixo Paraíba foi de 5 mm, com destaque para a região central com índices mais baixos. Deste modo, esses meses com baixa pluviosidade, são considerados meses de alerta, no qual se deve possuir um bom planejamento hídrico, para evitar que nesses meses as secas se alastrem, provocando impactos nas atividades humanas e na biodiversidade.

Além disso, será possível notar que os recursos hídricos provenientes nos meses anteriores vão sofrer com uma diminuição, porém não impactante se comparada a outras regiões da BHRPB. Porém, vale a conscientização da população para economizar e preservar esse bem natural em toda época, para que não sofram nos períodos de escassez nestes meses.

Finalizando a análise mensal das isoietas, o mês de dezembro (Figura 18L) apresenta seus maiores valores a leste chegando a 42 mm e vem reduzindo em sentido a oeste, sendo a parte central e a norte os menores valores com 14 mm.

Figura 18. Isoietas médias mensais da Pluviometria do Baixo Paraíba de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.6 Temperatura

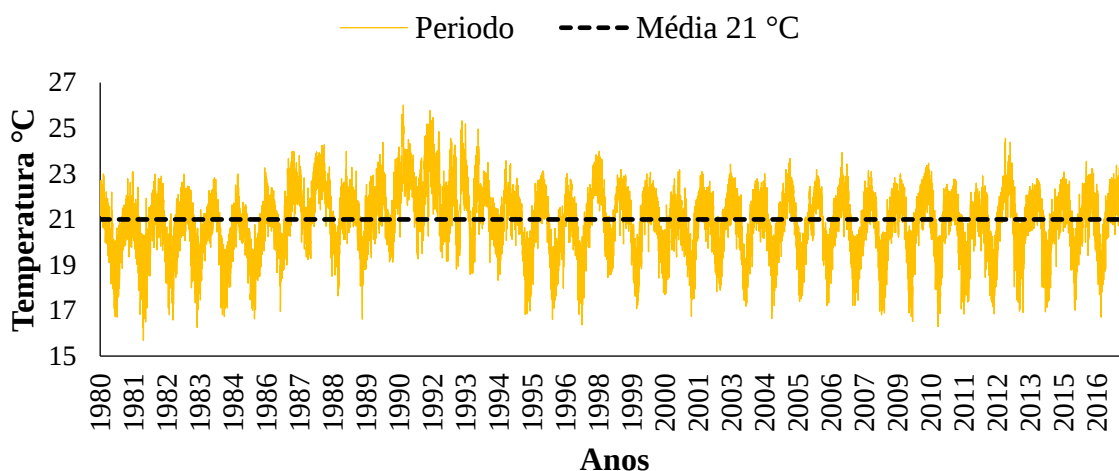
5.6.1 Temperatura Temporal Anual

A temperatura mínima (TMín) (Figura 19) apresenta uma variabilidade de 15 °C a 26 °C nos seus extremos ao longo dos anos e cujo valor médio é de 21 °C. Os anos de 1991 a 1993 e 2013 são os que apresentam os maiores valores de TMín chegando à média histórica do período analisado de 26 °C, ou seja, 5 °C acima da TMín média na área de estudo.

Por outro lado, é possível observar alguns ciclos de TMín durante a série histórica, sendo eles de 1981 a 1983 com 15 °C, 1995 a 1997 com 17 °C e 2009 a 2010 com 16 °C. A variação fica em no máximo 6 °C abaixo da média histórica mínima. Diante disso, pode-se destacar que a TMín não sofreu alteração ao longo do tempo, estando em equilíbrio.

É possível notar, um aumento da TMín entre os anos de 1987 a 1994, o que causa um aumento da temperatura nesse período, mostrando que a TMín agravou impactos nesse anos, o que consequentemente tornaram-se anos bem seco, impactando nas atividades humanas e na biodiversidade presente.

Figura 19. Temperatura Mínima Anual da série histórica de 1980 a 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

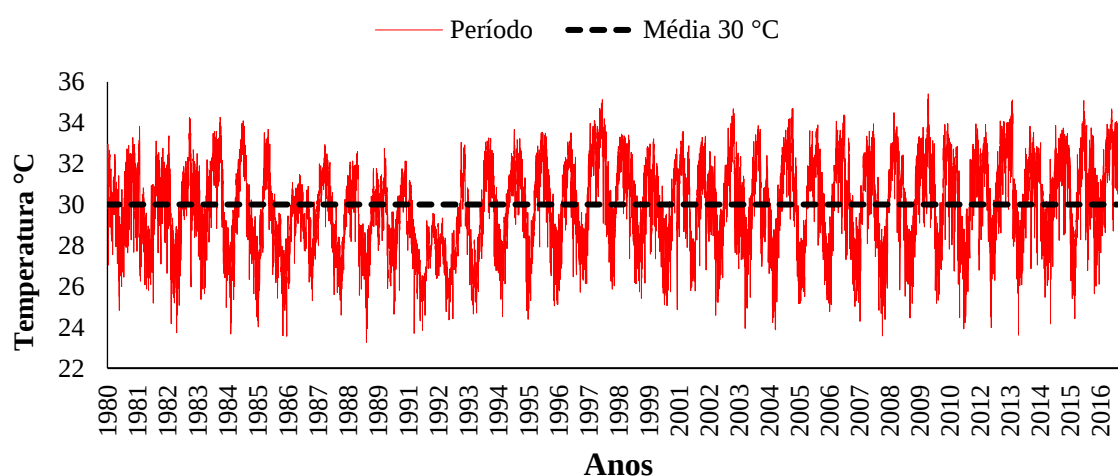
Em relação a temperatura máxima (TMáx) observa-se uma média de 30 °C (Figura 20). O período que compreende os anos de 1986 a 1993 a temperatura apresenta-se abaixo da média registrada, com 28 °C. Já, os períodos de maiores elevação de temperatura ocorre de 1998 em diante, onde as temperaturas se elevam em torno de 36 °C, ficando 6 °C acima da média.

Observa-se que a TMáx apresenta elevação no período analisado, e como consequência produz impactos diretamente na disponibilidade hídrica da região, fazendo com que o nível de

Umidade Relativa do Ar (URA) também seja afetado. Portanto, no NEB, a precipitação apresenta uma distribuição irregular, fazendo com que a energia disponível, em algumas épocas do ano seja utilizada para aquecer o ar, ressaltando a importância da $TM_{\text{Máx}}$ para essa região (Nascimento, et al., 2018).

Avaliando os piores cenários as consequências dessa elevação da temperatura será o aumento dos períodos de seca com drástica redução na produção de alimentos, pela diminuição da agricultura de subsistência na região (CUNNINGHAM et al., 2017).

Figura 20. Temperatura Máxima Anual da série histórica de 1980 a 2017



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A temperatura média anual ($TM_{\text{Méd}}$) servira de base para a análise mensal temporal e espacial, sendo analisada com base na $TM_{\text{Máx}}$ e $TM_{\text{Mín}}$, o que possibilita, verificar a estabilidade da série histórica na escala de tempo.

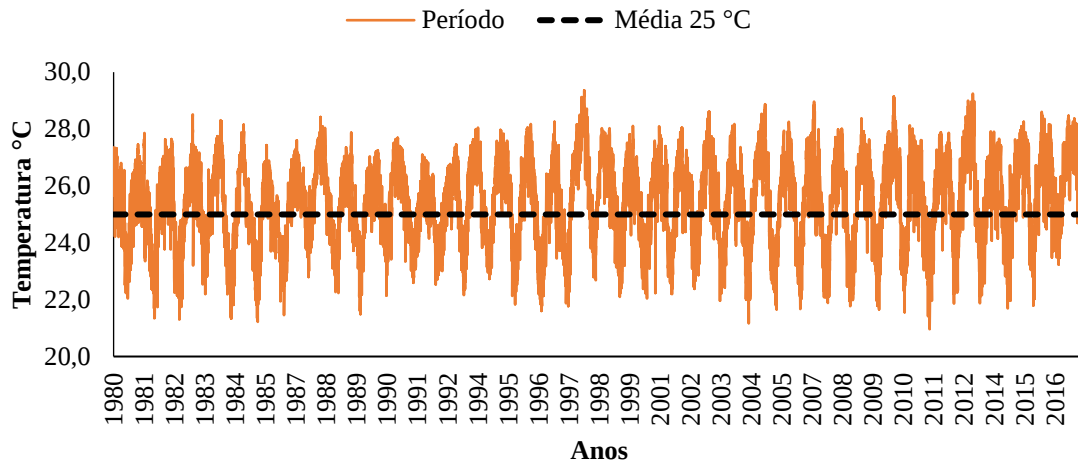
Diante disso, foi possível verificar que a temperatura média na região varia entre 21 °C a 29 °C, apresentando variações no decorrer dos anos. Logo, a $TM_{\text{Méd}}$ anual calculada foi de 25 °C, o que caracterizou, variações de 4 °C (Figura 21).

Diante desses resultados, é possível constatar que a variável $TM_{\text{Méd}}$, não vem aumentando nos últimos anos, diferente da $TM_{\text{Máx}}$, que teve uma elevação. Portanto, pode se destacar que a região, mantém um equilíbrio na variável $TM_{\text{Méd}}$ no contexto histórico, porém nota-se que no decorrer dos anos, existe sim uma variação de uma elevação, que pode e deve ocorrer nos meses de forma natural.

A variação da temperatura média pode ocorrer devido à redução de água nos reservatórios, umidade do solo e transpiração das plantas, durante o período seco, o que volta à

normalidade após o período úmido com o retorno de água aos reservatórios, aumento da umidade no solo e transpiração das plantas normalizada.

Figura 21. Temperatura Média Anual da série histórica de 1980 a 2017



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.6.2 *Temperatura Temporal Mensal*

A temperatura do ar se destaca em meio as variáveis atmosféricas mais usadas no desenvolvimento de estudos de impactos ambientais. Portanto, na realização dos dados mensais da TMéd, foi possível destacar dois períodos distintos, com sete meses caracterizados acima da média e cinco abaixo BHRPB (Figura 22).

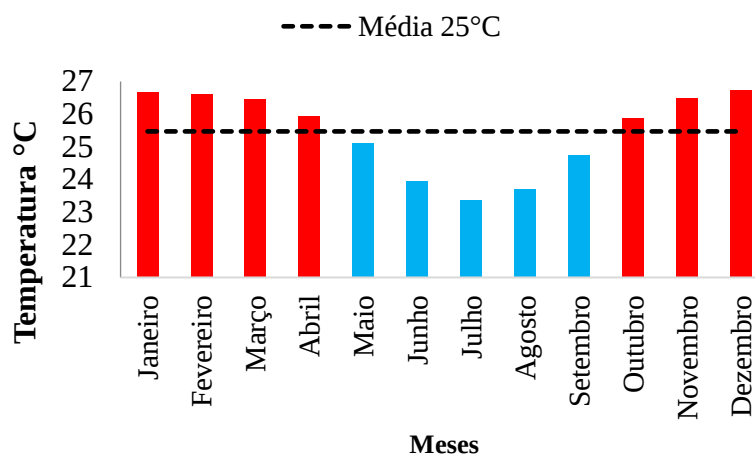
Assim, um deles é caracterizado como temperaturas abaixo da média compreendendo o período de maio a setembro, considerando julho o mês com a menor temperatura 23°C. Por outro lado, o período com temperatura mais elevadas, compreende o período de outubro a abril, com destaque para os meses de janeiro e dezembro, apresentando temperaturas na ordem de 27 °C. Em geral as maiores médias térmicas de temperatura do ar na superfície ocorrem durante o verão, e as menores durante o inverno (MEDEIROS et al., 2015).

Logo, é possível evidenciar que na BHRPB a TMéd mensal, se destaca por temperatura mais elevadas do que a média apontada no período analisado, isso se dá devido a três fatores, o primeiro se refere a posição leste no qual se provém do oceano atlântico, o segundo por estar no semiárido brasileiro e o terceiro por conta do planalto da Borborema para a região oeste que serve de barreira inibidora de massas de ar, vindas do litoral.

De acordo com as Projeções do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) indicam que a partir de 2070 as condições de temperatura para o NEB apresentarão

elevação entre 3,5° e 4,5°C e um agravamento do déficit hídrico com diminuição na distribuição das chuvas entre 40 e 50%, podendo desencadear a partir daí um processo de desertificação da caatinga.

Figura 22. Temperatura Média mensal de 1980 a 2017



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

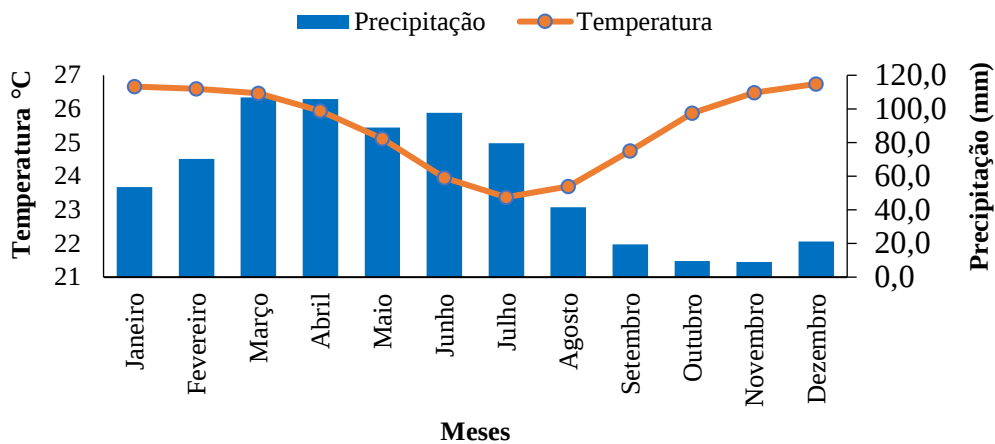
5.6.3 Análise comparativa entre Precipitação e $TM_{\text{éd}}$

Além disso é possível, correlacionar as variáveis precipitação mensal com a $TM_{\text{éd}}$ mensal (Figura 23), onde foi possível destacar que alguns meses apresentam características distintas no decorrer do ano, ou seja, meses que se encontram no período seco, como os meses de outubro e novembro. Observa-se que a temperatura estava bem elevada, o que reforça que nesses meses as condições do ambiente favorecem eventos de seca.

Outrossim, os meses considerados úmidos (Figura 23) a temperatura se manteve elevada em março e abril, porém são meses de maior aporte hídrico para a região oeste da BHRPB. Outro destaque é que em junho a temperatura fica abaixo da média estipulada para a área, o que desse modo diminui principalmente o nível da temperatura em toda a bacia, porém tem um impacto maior na parte leste.

Diante dessa análise destaca-se a necessidade do planejamento estratégico em termos hídricos, para entender como o clima da região se transforma e modifica ao longo dos anos. Assim, o conhecimento desses fatos, vão ajudar no desenvolvimento de ações de gestão na BHRPB, na manutenção e observação desses fatores, para projetar qualidade de vida mais útil em toda a bacia, um melhor gerenciamento dos recursos hídricos, com uma distribuição igualitária, prevendo cenários futuros.

Figura 23. Comportamento temporal entre as variáveis Precipitação e Temperatura Mensal da série histórica



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.6.4 Temperatura Espacial Mensal

De maneira similar a espacialização da pluviometria nas regiões do alto, baixo, médio e sub-bacia do Taperoá (Figuras 9, 12, 15 e 18), a temperatura média (TMéd) da BHRPB também foi especializada mensalmente, Figura 24 (A) a (L).

Deste modo, a espacialização da TMéd na BHRPB, ilustra o comportamento durante todos os meses. Neste sentido, os meses de janeiro e fevereiro (Figuras 24A e 24B) são considerados os de maior temperatura média na região visto que em quase toda a bacia hidrográfica, essa temperatura varia próximos aos 27 °C. Pode-se destacar ainda, que em alguns pontos na parte norte e no sudoeste, essas temperaturas ficam próximas dos 25, sendo assim as áreas com menor intensidade da TMéd nesses meses.

Além disso, o mês de março (Figura 24C), em relação a temperatura média, se comporta de maneira similar a janeiro e fevereiro, porém sua temperatura não passa dos 26 °C ao leste, noroeste e sul, sendo o seu pico máximo na TMéd. Já, o valor mínimo de temperatura média, em torno de 25 °C na região norte e sudoeste.

O mês de abril (Figura 24D) se apresenta como o de transição entre as temperaturas entre as altas e baixas temperaturas. Nesse mês, já se nota uma homogeneidade na distribuição de temperatura média, com características distintas, sendo a parte leste a de maior pico com 27 °C, a região central com 26 °C e as regiões norte e sudoeste com 25 °C.

O início do período com TMéd, abaixo da média (Figura 22) se inicia no mês de maio (Figura 24E), no qual a maior parte da BHRPB está entre a média ou abaixo dela, ou seja,

abaixo de 25 °C, com exceção da região leste que apresenta 26 °C, mantendo-se assim como a área que apresenta temperaturas mais elevadas.

Os meses de junho a agosto (Figuras, 24F, 24G e 24H), apresentam comportamentos similares na distribuição espacial, entre 21 °C a 25 °C em toda sua extensão, com destaque para o mês de julho (Figura 24G) que apresenta as menores médias registradas em toda a BHRPB. Esses resultados são semelhantes ao encontrado por Medeiros et al., (2015) na análise espacial da temperatura.

Por outro lado, o último mês considerado com TMéd, o mês de setembro, apresenta um valor abaixo da média (Figura 24I). Observa-se uma similaridade com o mês de maio (Figura 24E), no qual destaque-se as regiões leste e noroeste da BHRPB, chegando a temperaturas de 26 °C e nas demais regiões próximas dos 25 °C.

O mês de outubro (Figura 24J) é caracterizado com as maiores intensidades de TMéd, sendo o período de transição. Neste sentido, é possível evidenciar que a temperatura, varia entre 24 °C em uma pequena parte ao norte, sendo a região com menores elevações, e nas regiões leste e noroeste chegando a temperaturas de 27 °C.

Por fim, os meses de novembro e dezembro (Figuras 24K e 24L) possuem aumento significativo em sua temperatura, sendo similares ao pico inicial dos meses de janeiro a março (Figuras 24A, 24B e 24C) com poucas variações na BHRPB, possuindo o mínimo de 25 °C a norte e sudoeste, e o máximo a leste noroeste com 27 °C.

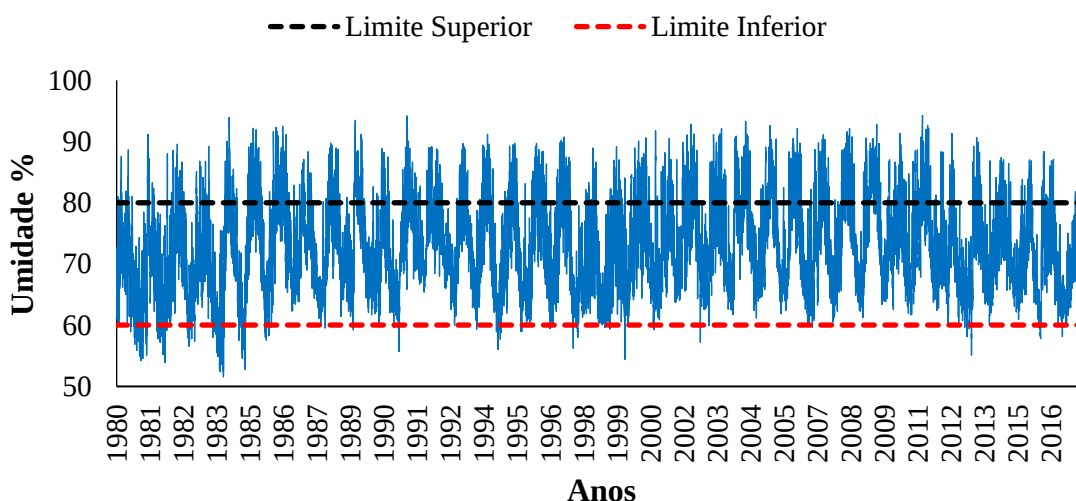
Deste modo, é necessária uma maior atenção aos meses com TMéd elevada, visto que o aumento da temperatura, pode afetar direto ou indiretamente o ambiente natural, e podem causar danos à saúde, afetando diretamente o clima local e no abastecimento dos mananciais.

Além disso, com o aumento de TMéd nesses meses, pode ocorrer um agravamento em microescala na região, modificando o meio. Assim, esses impactos podem afetar diretamente nos níveis dos reservatórios, causando um aumento no número de cianobactérias e de outros afloramentos.

de crises de garganta, de espirro e consequentemente dificuldade para respirar. Além desses, as paredes e chão ficam molhados, podendo causar mofo e outros organismo no local.

Por outro lado, se a URA estiver abaixo dos 60 %, também pode causar malefícios a saúde humana, através da fragilidade dos pulmões, ressecamento de pele e infecções virais. Além disso, em casos de URA abaixo dos 40 %, podem causar maiores danos à saúde, causando a dispersão de gases na atmosfera, infecções de vírus e bactérias, facilitando doenças como a asma, além de desidratação. Causa também, problemas de alergia e infecção nos olhos (NASCIMENTO et al., 2021).

Figura 25. URA Anual da Série histórica de 1980 a 2017



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

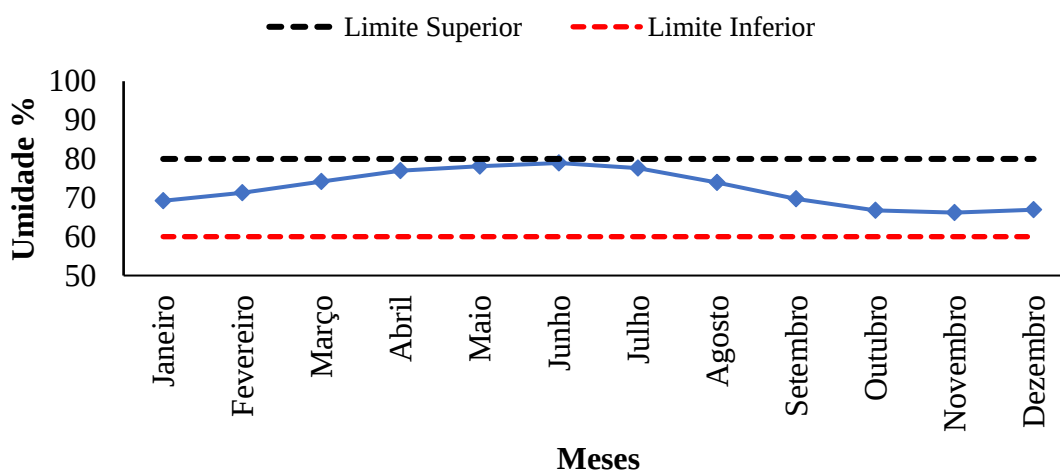
5.7.2 URA Temporal Mensal

Na análise mensal da URA (Figura 26) observa-se que durante o ano existe uma alteração se comparado ao valor anual, porém, todos os meses apresentaram-se dentro da normalidade na série analisada. Vale destacar, que mesmo dentro do período existe uma variação, e que esse resultado está de acordo com a média histórica dos 40 anos. Entre os meses de março a agosto ocorrem a maior ura, com destaque para junho que apresenta o mais próximo do limite máximo permitindo.

Do mesmo modo, para os meses no qual existe uma baixa URA, próxima do limite inferior, são os meses de setembro a fevereiro, com destaque para os meses de outubro e novembro, cujo a URA atinge 66 e 67 respectivamente, o que demonstra que durante alguns meses a URA foi mais baixa.

Além disso, essas anomalias demonstram uma constante alternância nos ciclos dos anos, em que se pode averiguar a relação com as mudanças locais, relacionado aos fatores físicos e ambientais, que interferem de maneira significativa. Desse modo, a realidade mensal analisada, demonstra uma convicção mais próxima da estabelecida pela OMS.

Figura 26. URA Mensal da Série histórica de 1980 a 2017



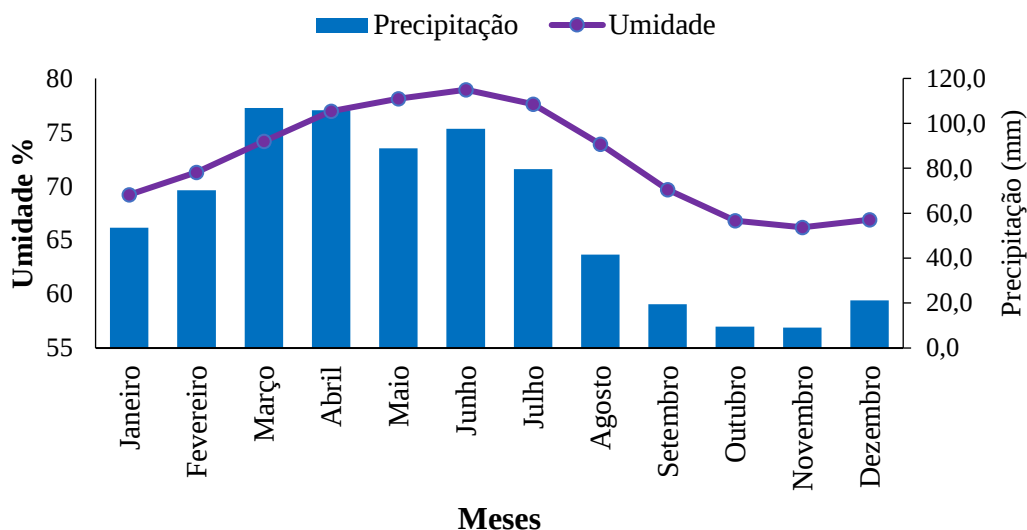
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.7.3 Análise comparativa entre Precipitação e URA

Uma análise comparativa entre a precipitação e a URA (Figura 27) foi produzida, na qual foi possível destacar notória similaridade, ou seja, quando o nível de precipitação está elevado em algum mês, a ura também está. tal fato, pode ser constatado no período úmido, entre os meses de março e abril, que apresentam uma pluviosidade elevada e a URA segue esse padrão, o que acontece em toda a BHRPB, com destaque para a região oeste. Além disso, junho segue a mesma intensidade de chuvas elevadas, porém ocorre mais concentrada na faixa leste da região.

Já os períodos caracterizados como secos da BHRPB, outubro e novembro, apresentam também, similaridade na diminuição da URA. Por outro lado, a temperatura aumenta nessa região, ou seja, diferente das variáveis ambientais exposta, precipitação e URA, a temperatura segue o caminho oposto. Logo, o conhecimento dessas informações, contribuem para a verificação das mudanças regionais, os impactos que elas possam causar, e se inibem direta ou indiretamente na questão da qualidade da água na região, e nos seus diversos pontos.

De acordo com Nóbrega e Santiago, (2014) as secas severas e períodos de grande URA no NEB são associados aos padrões anormais de circulação atmosférica global de grande escala associado ao El Nino Oscilação Sul – ENOS.

Figura 27. Comportamento temporal entre as variáveis Precipitação e URA da série histórica

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.7.4 URA Mensal Espacial

De maneira similar as isoietas médias mensais da precipitação (Figuras 9,12,15 e 18) e temperatura (Figura 24), foi realizado a espacialização da URA da BHRPB, no qual estão representadas na Figura 28 (A) a (L).

O mês de janeiro (Figura 28A) se caracteriza como um mês cuja URA varia entre 61 % na parte oeste, aumentando significativamente para 73 % ao leste. Já o mês de fevereiro (Figura 28B) apresentou valores variando entre 65 % na parte oeste e 74 % na parte leste, e a região central ficou em torno de 70%.

Para o mês de março (Figura 28C), a espacialização apresentou variação entre 69% a oeste e 77 % a leste. Os meses de abril a julho (Figuras 28D, 28E, 28F e 28G) a espacialização apresenta os menores valores observados, entre 72 % a oeste e 83 % a leste, variando em poucos % de um mês para o outro, o que mantém uma homogeneidade nos resultados.

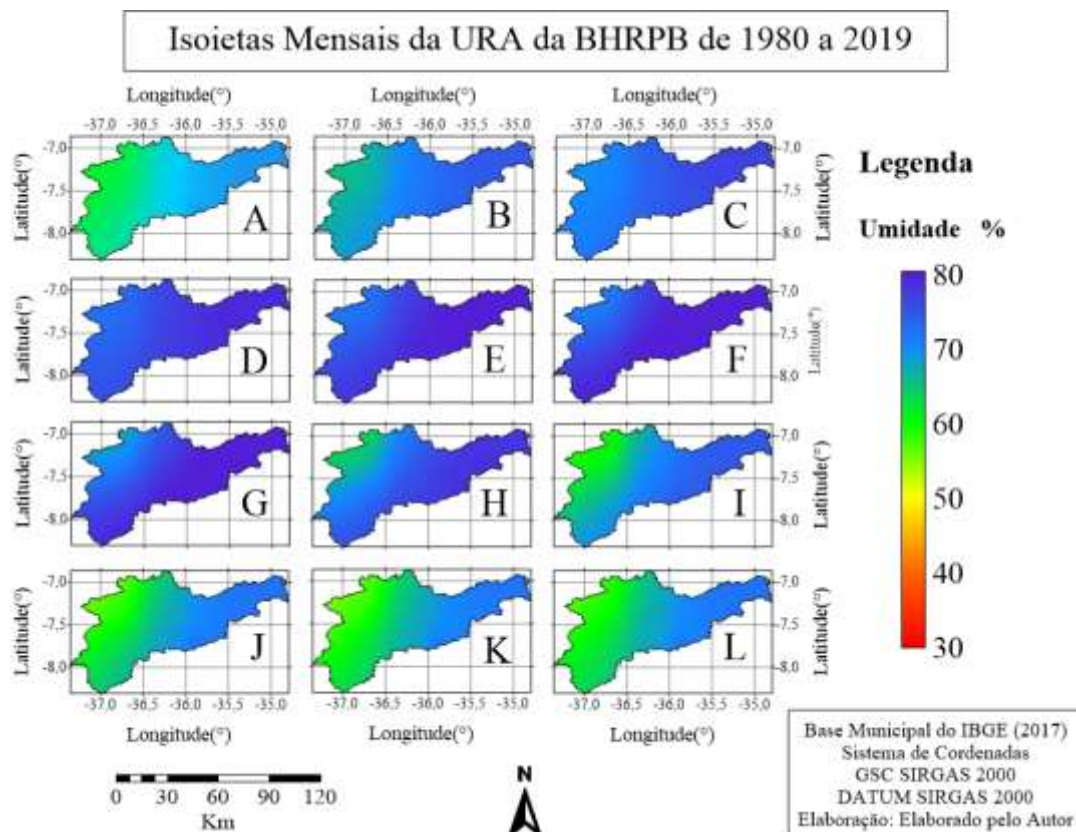
No mês de agosto (Figura 15H), nota-se que quase toda a BHRPB apresenta uma URA em torno de 78%, e uma pequena parte ao oeste com 62 %. Em setembro (Figura 28I), evidencia que a região oeste tem uma diminuição no nível de URA, chegando a 58 %, na parte central 63 % e mais ao leste chegando a 75 %. Neste sentido, é importante salientar as medidas de qualidade do ar na região, visto que alguns dados estão abaixo dos parâmetros estabelecidos pela OMS e que pode acarretar alguns problemas de saúde.

Por fim, os meses de outubro a dezembro (Figuras 28J, 28K e 28L), apresenta uma maior intensidade de URA sendo igual A 72 % em todos os meses e o menor valor se encontra em 55 % na parte oeste.

Como foi evidenciado que a URA está interligada diretamente com a variável precipitação (FIGURA 27), constata-se que a região leste, que apresentou os maiores índices de precipitação (figura 12) de acordo com os meses apresentados, também apresentou um maior percentual de URA.

Além disso, outros fatores que podem ser observados através da influência dos eventos climáticos, como por exemplo, a intensidade dos ventos, que levam massas de ar do oceano atlântico para o interior do continente, propicia uma URA mais baixa. Além disso, existe a presença do planalto da Borborema que interfere diretamente servindo como uma barreira para entrada de ventos e de umidade.

Figura 28. Isoietas médias mensais de URA da BHRPB de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.8 Adaptação da Classificação dos Índices de Seca a partir dos Índices do MD, IPN & IAC

Considerando que a análise dos resultados dos diversos índices de seca traz uma difícil compreensão, neste estudo, uma nova metodologia para o cálculo da severidade da seca foi objetivada com base nas classificações propostas para cada um dos índices avaliados existentes e analisados. a utilização dessa nova classificação teve como objetivo verificar a frequência dos diferentes IS quando aplicados na BHRPB.

O objetivo dessa nova caracterização dos índices de seca é de padronizar o sistema de classificação dos IS para todos os métodos aplicados (MD, IAC e IPN) de acordo com a classe de momento: chuva extrema, chuva moderada, chuva fraca, seca fraca, seca moderada e seca extrema.

No Quadro 2 está exposta a classificação do MD sugerida por Gibbs e Maher (1967) e a classificação proposta no presente trabalho, no qual foram adotados diferentes intervalos numéricos para cada uma das classes do IS. Nota-se que o houve um acréscimo no número de classes, apresentando-se em uma escala adequada e que pode identificar adequadamente as anomalias pluviométricas para a região.

Quadro 2. Relação entre os valores de escala para o método MD e a nova escala proposta.

Gibbs e Maher (1967)		Proposto (Nascimento, M. B.)	
MD	ÍNDICE DE SECA	MD	ÍNDICE DE SECA
10 - 9	Muito Úmido	10	Chuva Extrema
8 - 7	Úmido	9 – 8	Chuva Moderada
6 - 5	Próximo ao Normal	7 - 6	Chuva Fraca
4 - 3	Seco	5 – 4	Seca Fraca
2 - 1	Muito Seco	3 – 2	Seca Moderada
		1	Seca Extrema

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para o Quadro 3 apresenta-se a classificação das secas sugerida por Araújo et al. (2009) e a nova escala proposta da pesquisa. Assim, seguindo o modelo do IAC, ocorre uma modificação em uma escala, ou seja, antes classificados de extremamente úmido a extremamente seco, passou a ser chuva extrema a seca extrema. Logo, a quantidade de classes permaneceu a mesma.

Quadro 3. Relação entre os valores do IAC de Araújo et al. (2009) e o proposto pelos autores.

Araújo et al. (2009)		Proposto (Nascimento, M. B.)	
MD	ÍNDICE DE SECA	IAC	ÍNDICE DE SECA
De 4 acima	Extremamente úmido	$4,1 \geq$	Chuva Extrema
2 a 4	Muito úmido	$2,1 \leq 4$	Chuva Moderada
0 a 2	Úmido	$0,1 \leq 2$	Chuva Fraca
0 a -2	Seco	$-0,1 \leq -2$	Seca Fraca
-2 a -4	Muito seco	$-2,1 \leq -4$	Seca Moderada
De -4 abaixo	Extremamente seco	$\leq -4,1$	Seca Extrema

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

De acordo com o modelo proposto para o IPN no Quadro 4, é adicionado duas novas classes de IS, modificando assim, os parâmetros antes analisados por Cunha (2008) que eram de quatro classes passando para seis, sendo assim feita a readaptação nos valores finais com intensidade de chuva elevadas. Logo, diante dessa alteração, destaca-se os parâmetros de intensidade de chuvas (chuva fraca a extrema), e a retirada da classe normal. assim, essa nova abordagem, apresenta valores de eventos úmidos, que não existia no IPN anterior.

Quadro 4. Relação entre os valores de IPN de Cunha (2008) e o proposto pelos autores.

Cunha (2008)		Proposto (Nascimento, M. B.)	
IPN	ÍNDICE DE SECA	IPN	ÍNDICE DE SECA
$IPN \geq 0,85$	Normal	$IPN \geq 1,51$	Chuva Extrema
$0,75 \leq IPN < 0,85$	Seca moderada	$1,26 \leq IPN < 1,50$	Chuva Moderada
$0,50 \leq IPN < 0,75$	Seca severa	$1,01 \leq IPN < 1,25$	Chuva Fraca
$IPN < 0,50$	Seca extrema	$0,76 \leq IPN < 1,00$	Seca Fraca
		$0,51 \leq IPN < 0,75$	Seca Moderada
		$IPN < 0,50$	Seca Extrema

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Após a análise do banco de dados e de sua classificação nas duas escalas de tempo analisadas (mensal e anual), a Tabela 4 apresenta a nova metodologia proposta para identificação dos IS pautado nos 40 anos.

Tabela 4. Padrão da classificação dos Índices de Seca MD, IAC e IPN.

PADRONIZAÇÃO	ÍNDICES DE SECA PROPOSTO		
	MD	IAC	IPN
Chuva Extrema	10	$4,1 \geq$	$IPN \geq 1,51$
Chuva Moderada	9 - 8	$2,1 \leq 4$	$1,26 \leq IPN < 1,50$
Chuva Fraca	7 - 6	$0,1 \leq 2$	$1,01 \leq IPN < 1,25$
Seca Fraca	5 - 4	$-0,1 \leq -2$	$0,76 \leq IPN < 1,00$
Seca Moderada	3- 2	$-2,1 \leq -4$	$0,51 \leq IPN < 0,75$
Seca Extrema	1	$\leq -4,1$	$IPN < 0,50$

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A criação dessa nova classificação de secas, leva em consideração, que todos os três métodos possuem a mesma magnitude dos IS propostos, conforme explicado na (Tabela 4). Em

seguida, esse modelo de valor proposto foi utilizado para determinar a ISS de todos os meses e anos, do período adotado no trabalho.

5.9 Nova metodologia de Classificação dos Índices de Severidade das Secas da BHRPB na escala de tempo mensal e anual

A metodologia proposta, além da nova padronização da IS (Tabela 4), propõe uma nova caracterização da condição final de pluviometria ou caracterizado como Índice de Severidade das Secas (ISS) (Quadro 5).

Deste modo, realizou-se esses procedimentos para transformar essa análise da classificação qualitativa em uma classificação quantitativa, no qual foram analisados os resultados de cada IS em determinado ano do período estudado de acordo com a classificação de severidade de seca proposto. Conforme a nova classificação, a conjectura dos três IS (MD, IAC e IPN) receberá um valor de ISS ao final. ao se somar os valores, gera um valor para o índice de severidade de seca (ISS).

Como observado no quadro 5, a nova classificação para ISS, pode variar entre seis classes que vão de “extremamente seco” até “extremamente úmido”. Com essa classificação, foram aplicados tais parâmetros na escala mensal e anual da BHRPB, para uma compreensão dos resultados.

Deste modo, aplicando-se a nova escala para os IS, com os novos valores estabelecidos, e com base na combinação das novas classes abordadas, pode-se realizar o somatório dos valores possíveis obtém-se os valores do novo ISS.

Essa classificação do ISS foi definida, pelas possíveis combinações dos IS do IPN, MD e IAC, diante dos possíveis cenários podendo apresentar respostas similares, ou diferente entre ambos.

Após a análise do conjunto de dados, os resultados foram divididos em seis classes conforme o Quadro 5: Extremamente Seco (ES), Muito Seco (MS), Seco (S), Úmido (U), Muito Úmido (MU), Extremamente Úmido (EU). DIANTE DESSA DIVISÃO, obteve-se como resultado vinte valores de severidade de seca conforme os ISS propostos para os três IS analisados.

Assim, para cada valor de ISS foi estabelecido um nome na proposição da nova abordagem de classificação, no qual cada classe possui um conjunto de valores de severidade, determinados justamente pelo conjunto de possíveis resultados apresentados pelos IS da Tabela 4.

Os respectivos valores de severidade foram padronizados da seguinte forma: o índice de severidade chamado Extremamente Seco, possui valores de severidade 1 e 2. Esses valores levam em consideração que: a ocorrência de três resultados iguais de SE em todos os índices, por exemplo, atribui-se o valor 1; já para receber o valor 2, leva-se em consideração que dois dos três IS apresentarem SE e apenas um SM.

Quadro 5. Conjectura de combinações das classes de Índices de Secas, para determinação do valor de severidade do Índice de Severidade das Secas.

Índice de Severidade das Secas	Valor de Severidade	ÍNDICES DE SECAS		
		IPN	MD	IAC
Extremamente Seco	1	SE	SE	SE
	2	SE	SE	SM
Muito Seco	3	SM	SM	SM
	4	SM	SM	SM
	5	SM	SM	SF
	6	SE	SM	SF
Seco	7	MS	SF	SF
	8	SF	SF	SF
	9	SF	SF	CF
	10	MS	SF	CF
Úmido	11	SF	CF	CF
	12	CF	CF	CF
	13	CF	CF	CM
	14	SF	CF	CM
Muito Úmido	15	CF	CM	CM
	16	CM	CM	CM
	17	CM	CM	CE
	18	CF	CM	CE
Extremamente Úmido	19	CF	CE	CE
	20	CE	CE	CE

SE = Seca Extrema; SM = Seca Moderada; SF = Seca Fraca;
CF = Chuva Fraca; CM = Chuva Moderada; CE = Chuva Extrema.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Em seguida, o valor de severidade Muito Seco, foi padronizado em quatro valores, variando de 3 a 6, onde foi possível destacar que o valor de 3 quando os resultados dos índices apresentaram dois SM e um SE. Já para a severidade 4 todos os IS apresentam SM. Para a severidade 5 leva-se em consideração que eles apresentam dois SM e um SF, e pôr fim a severidade 6 é atribuída quando os IS possuem variações de um SE, SM e SF, sendo neste caso atribuído na classificação a condição média.

A classificação da classe Seco, leva em conta os valores que vão de 7 a 10, no qual é possível notar que a severidade 7 ela é atribuída quando se possui duas SF e um SM. Já a severidade 8 é quando todos os IS se apresentam com SF. Além disso, a severidade 9 é quando

se apresenta com duas SF e um CF, em seguida a severidade 10 é quando os IS apresentam valores diferentes como SM, SF e CF.

Posteriormente a Classificação da classe Úmido, leva-se em consideração os valores que vão de 11 a 14, no qual é possível detectar que a severidade 11 é representada por um SF e dois CF. Já a severidade 12 é representada sendo todos os três IS como CF. Para a severidade 13 são duas CF e uma CM, e pôr fim a severidade 14 é referente a SF, CF e CM.

A penúltima classe que é Muito Úmido, que vai entre os valores 15 a 18, a severidade 15 ela ocorrera quando possuir dois CF e um CM. Já a 16 quando todos os IS forem CM. Além disso, a severidade 17 foi composta por duas CM e uma CE, já a severidade 18 foi composta quando aparecer entre eles CF, CM e CE.

Por fim, a última classe denominada Chuva Extrema, no qual apresenta duas severidades que são elas a 19 e 20. Portanto, a severidade 19 é composta quando dois IS apresentarem como CE e uma CM. Por outro lado, a severidade 20 quando todos os IS for CE. Vale destacar, que com 30 anos de dados já se torna um estudo adequado para a região, podendo ser aplicada não só para a região semiárida, e sim para outras regiões do Brasil e do mundo.

Deste modo, ao aplicar o sistema de classificação de seca na escala de tempo mensal e anual proposto, procurou-se verificar a frequência das anomalias mais extremas e um possível padrão existente na série temporal.

Em seguida, o sistema de classificação permitirá examinar as condições de seca e identificar assim os meses e anos com ISS mais extremos, sendo eles os de “Extremamente Seco e Extremamente Úmido”, e observar a sua relação na sequência cronológica do estudo, verificando suas variações e demais anomalias.

5.10 Índice de Severidade das Secas

5.10.1 Índice de Severidade das Secas Anual

A análise anual da IS está apresentada no Quadro 6 que apresenta a nova classificação do ISS. Cada método de IS utilizado apresentou resultados distintos, sendo possível observar uma similaridade no ano de 2011 para os três IS, com anos classificados como chuva extrema. por outro lado, observa-se nos anos de 1985, 2000 e 2004 uma similaridade entre o IS (MD e IAC) e apenas no IAC no ano de 2009.

Por outro lado, os anos classificados com Seca Extrema ou negativos, apresentaram-se nos IS em concordância no ano de 1998, como também, no MD e IAC nos anos de 1999 e 2012, e só no MD no ano de 2015.

Os resultados do IS apresentados como Chuva Moderada e Seca Moderada, foram possíveis de ser destacado nos três IS em 1984, 1994 e 2008 para Chuva Moderada, e Seca Moderada apenas no ano de 2001. Portanto, foi evidenciado em outros anos, ambos os parâmetros, só que apareceram com outras variações de IS como pode ser observado no Quadro 6.

Logo, os anos caracterizados como Seca Fraca e Chuva Fraca foram os que mais se destacaram na série histórica. Assim, a classificação Seca Fraca foi observada nos três IS de forma homogênea nos anos de 1980, 1983, 1987, 1993, 1997, 2010 e 2018, já os anos com Chuva Fraca foram observados nos anos de 1996 e 2005.

Vale notar que, em outros anos, tais similaridades aparecem em partes, com apenas um ou dois representantes de IS. Desse modo, Nascimento et al, (2019) afirma que em séries curtas ou longas de precipitação, o primordial é a alternância entre os ciclos secos e úmidos, já que assim se compreenderá um balanceamento hídrico sem danificar as atividades no ambiente.

Assim, é possível observar que no período estudado, os IS se apresentam como um divisor notório dessas características para a região, podendo evidenciar algumas similaridades e outras divergências, porém nem tão distante da realidade dos parâmetros analisados. Neste sentido, enfatizando a utilização dos três IS é que se pode transformar um resultado direto na pesquisa, destacando sua interpretação para o meio.

Ainda, de acordo com o Quadro 6, outra análise que pode ser realizada é que, dentre os três IS aplicados na BHRPB, o MD apresenta-se como o IS de menor quantidade de dados similares, sendo observado em 26 anos de dados na série estudada. Já o IPN, apresenta-se com 31 dados correlacionado.

Para o índice IAC, ocorre um destaque de ocorrência com 39 similaridades. observa-se ainda que o IAC só não apresenta similaridade no ano de 2009, quando ele teve característica de Chuva Extrema e os demais de Chuva moderada. Diante desse resultado, o método IAC apresentou para a região, 97,5 % de precisão, se tornando o IS mais representativo.

Porém, os demais IS também apresentaram respostas positivas, como o IPN que apresentou cerca de 77% com dados similares aos demais índices, e o MD que apresentou 65 % de similaridade nos resultados.

Portanto, com a utilização dos IS (MD, IPN e IAC) e da nova abordagem proposta pode-se chegar a uma resposta positiva ou negativa para a BHRPB em relação ao estudo da condição de seca na região. Dessa forma, o estudo dos IS com a nova classificação proposta dos ISS apresentou resultados promissores podendo ser aplicados a outros estudos, sendo eles municípios, regiões e estados ou até mesmo em escala internacional.

Quadro 6. Classificação anual dos Índices de Seca (IAC; IPN; MD) da BHRPB na escala de 1980 a 2019 com base na nova metodologia para ISS.

Ano	Índices de Seca					
	IAC		IPN		MD	
1980	-1,2	SF	0,90	SF	4	SF
1981	-0,1	SF	0,99	SF	6	CF
1982	-2,4	SM	0,80	SF	3	SM
1983	-1,1	SF	0,91	SF	4	SF
1984	3,4	CM	1,33	CM	9	CM
1985	4,5	CE	1,44	CM	10	CE
1986	1,5	CF	1,15	CF	8	CM
1987	-0,7	SF	0,95	SF	5	SF
1988	0,5	CF	1,05	CF	7	CF
1989	-0,6	SF	0,96	SF	6	CF
1990	-2,8	SM	0,78	SF	2	SM
1991	-0,6	SF	0,96	SF	6	CF
1992	0,9	CF	1,09	CF	8	CM
1993	-0,9	SF	0,93	SF	5	SF
1994	3,1	CM	1,30	CM	9	CM
1995	-0,7	SF	0,95	SF	5	SF
1996	0,5	CF	1,05	CF	8	CM
1997	-1,2	SF	0,90	SF	4	SF
1998	-6,6	SE	0,48	SE	1	SE
1999	-4,2	SE	0,67	SM	1	SE
2000	5,1	CE	1,48	CM	10	CE
2001	-3,2	SM	0,74	SM	2	SM
2002	-0,1	SF	1,00	SF	7	CF
2003	-0,5	SF	0,96	SF	6	CF
2004	4,9	CE	1,46	CM	10	CE
2005	0,2	CF	1,02	CF	7	CF
2006	-1,6	SF	0,88	SF	3	SM
2007	-0,2	SF	0,99	SF	7	CF
2008	2,8	CM	1,27	CM	9	CM
2009	4,5	CE	1,44	CM	9	CM
2010	-0,7	SF	0,95	SF	5	SF
2011	6,6	CE	1,63	CE	10	CE
2012	-4,5	SE	0,63	SM	1	SE
2013	-1,5	SF	0,88	SF	3	SM
2014	-1,7	SF	0,87	SF	3	SM
2015	-3,8	SM	0,69	SM	1	SE
2016	-2,9	SM	0,77	SF	2	SM
2017	-2,5	SM	0,81	SF	2	SM
2018	-1,1	SF	0,91	SF	4	SF
2019	0,8	CF	1,08	CF	8	CM

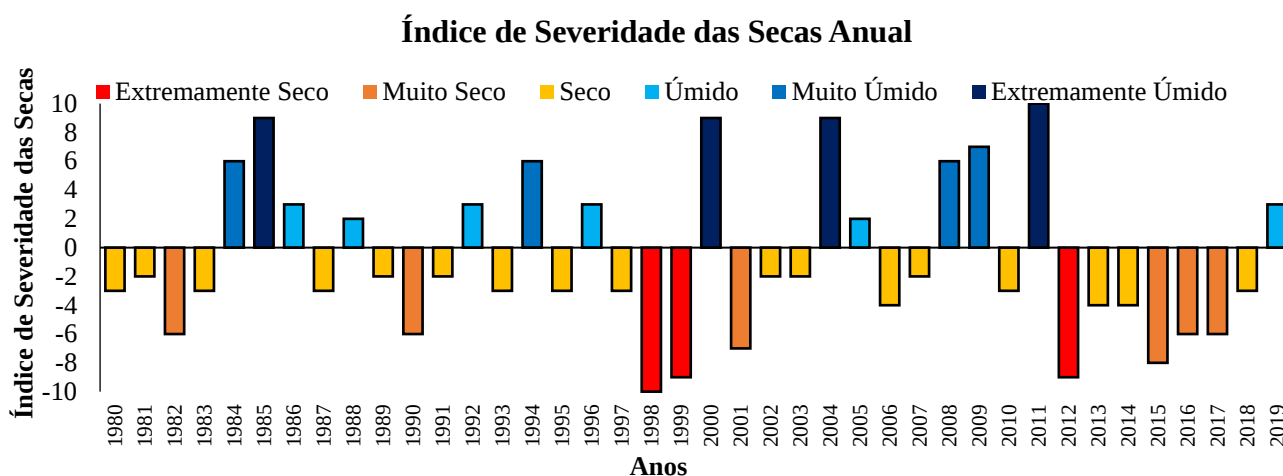
SE = Seca Extrema; SM = Seca Moderada; SF = Seca Fraca;
CF = Chuva Fraca; CM = Chuva Moderada; CE = Chuva Extrema.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através dos métodos utilizados, e da classificação proposta para os ISS anual, a área em estudo se apresenta com características distintas no decorrer dos anos analisados na BHRPB, variando entre ciclos secos e úmidos, conforme demonstra a Figura 29 que apresenta a análise anual de acordo com a nova classificação proposta pelo ISS.

Com isso, através da nova abordagem para a classificação da ISS, a figura 29 apresenta todas as variações possíveis (Figura 29), apresentando 26 anos secos, classificados em 3 ES (1998, 1999 e 2012), 6 MS (1982, 1990, 2001, 2015, 2016 e 2017) e 17 S (1980, 1981, 1983, 1987, 1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 2002, 2003, 2006, 2007, 2010, 2013, 2014 e 2018). Por outro lado, a área estudada apresentou 14 anos úmidos, sendo classificados como 6 U (1986, 1988, 1992, 1996, 2005 e 2019), 4 MU (1984, 1994, 2008 e 2009) e 4 EU (1985, 2000, 2004 e 2011).

Figura 29. Índice de Severidade das Secas Anual da BHRPB conforme a nova classificação proposta.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através destes resultados é inegável notar dentro das escalas mensais e anuais que a escala anual possui uma maior variação para a área em estudo. Se uma correlação for realizada entre os anos classificados como estáveis, seja ele considerado U (6) ou S (17), obtém-se um somatório de 23 anos ou 57,5 %, e podemos classificá-los como estáveis e com pouco impacto significativo.

No total, 10 anos ou 25% foram classificados como “MS (6) e MU (4)”, enquanto 7 anos apresentaram “ES (3) e EU (4)” ou 17,5 %, porém, é exatamente nesses anos que a gestão integrada deve ser mais implementada.

Com essa delimitação entre os anos de “MS e MU” destaca-se períodos de grandes impactos, tanto econômico, social e ambiental, em uma perspectiva de que as chuvas em excesso, trazem consigo problemas em grandes centros urbanos como, inundações, riscos de desastre ambientais, perda da lavoura e danos na saúde, caso não tenha uma gestão adequada dos recursos hídricos ou falta de conhecimento dos períodos em análise.

Por outro lado, as secas intensas (MS) provocam, além da pouca produtividade na agricultura, um aumento na temperatura, danos à saúde humana, mortalidade de animais, êxodo

rural, dentre outros. Portanto, políticas que visem o abastecimento e manutenção desse bem natural (água) é imprescindível, visto que cerca de um bilhão de pessoas no mundo vive em bacias hidrográficas com escassez econômica de água (CIRILO, 2015).

Ainda assim, os anos classificados como “ES e EU” sofreram grandes impactos, principalmente com os IS mais elevados. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) de 2014 aborda os eventos extremos como sendo àqueles eventos climáticos e meteorológicos acumulados que ocasionam impactos, econômicos, sociais e ambientais.

Constata-se assim que os anos de 1999 e 2012 possuem similaridades e seguem uma variação normal, sendo classificados como “ES”, com um valor de severidade -9, por outro lado o ano de 1998, possuem uma severidade extremamente alta, atingindo o máximo de -10.

Deste modo, os anos classificados como ES (1998 e 1999) foram ocasionados por eventos de EL Niño, que ocorreram com muita intensidade no NEB, causando uma seca severa. Este fato, corrobora com Rodrigues et al., (2017), no qual destaca que em 1998 e 1999 as chuvas ficaram em torno de 70% e 44% abaixo da média, os quais estiveram associados a atuação do fenômeno El Niño 1997/1998 com intensidade Muito Forte, influenciando até a estação chuvosa de 1999.

Assim Silva et al., (2018), reafirma que os impactos provocados pela seca, afetam direta ou indiretamente as atividades locais, implicações do aumento da temperatura e na diminuição dos recursos hídricos, que afetam a quantidade de água disponível nos reservatórios da região

Já os anos EU, representados por 1985, 2000 e 2004 apresentam similaridades em sua formação, com uma nota 9 elevada com IS representados pelo IAC e MD com CE e o IPN com CM, o que caracterizou essa igualdade. Já no ano de 2011 que obteve o maior valor de severidade, todos os IS apresentaram com CE, destacando-se assim na nova classificação como EU.

Portanto, os anos classificados como EU podem acarretar dois aspectos, o primeiro seria o benefício para a população com a alta quantidade de precipitação em mm por ano, o que poderia ajudar no desenvolvimento regional, alívio na temperatura, aumento do volume nos mananciais.

Assim, outro fato que se pode observar é uma variação de anos extremos como é o caso de 1999 (ES) e 2000 (EU), nota-se assim, que o ano apresentava secas severas na região, e conseqüentemente no ano posterior, teve um alívio devido a grandes precipitações que recarregaram os mananciais. Por outro lado, em 2011 (EU) e 2012 (ES), ocorre o inverso, visto

que o ano anterior foi de chuvas elevadas, o que nos anos subsequentes se mantiveram como secos após o ano extremo.

Os maiores ciclos de anos úmidos foram destacados entre os anos de 1984 a 1986 e os anos classificados como secos, foram de 2012 a 2018, ou seja, nota-se que o número cronológico de série de secas foi bem maior que o de anos úmidos. Logo, é possível destacar ainda que esse aumento de anos de seca, estão representadas na última década, o que se deve neste caso possuir uma maior atenção, para o aumento desses dados.

Logo, os resultados obtidos contribuem para os gestores locais, agricultores e agências ambientais do estado, um conhecimento amplo dos períodos de maior escassez e de maior abundância dos recursos hídricos. Assim, de forma a permitir proposições de políticas públicas que possibilitem estratégias de convivência do homem do campo e no interior para a melhor convivência em ambos os períodos distintos e dessa forma venham a projetar cenários futuros para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Por fim, estes cenários podem ser previstos pelo geoprocessamento, através de levantamento de dados da sequência cronológica de uma determinada região, o que possibilita ver a questão da vulnerabilidade em que a região se encontra e prospectar cenários futuros. Além dessa projeção também existe modelos computacionais e matemáticos como o método de Análise em Componentes Principais (ACP) que detecta riscos, faz correlações de cenários, o que foi possível de evidenciar na correlação com as cianobactérias.

5.10.2 Índice de Severidade das Secas Mensal

Em relação aos resultados par aa escala mensal dos IS (MD, IAC e IPN) na BHRPB (Quadro 7) ocorreu, também, uma semelhança entre os índices, com 67% similar para o caso do IPN com 8 dados similares e o MD e o IAC com apenas 9 similares, o que corresponde a 75%.

Diante do resultado, pode-se observar uma alternância dos IS. Nota-se que o MD e o IPN apresentam 6 similaridades em conjunto, o MD com o IAC 7 similaridades, e o IAC com o IPN 6 similaridades. Deste modo, os IS na escala mensal, estão com características mais próximas do que na escala anual (Quadro 6), demonstrando-se assim, que os IS são fundamentais em conjunto para determinação da característica da região da BHRPB. Além disso, podemos destacar o IAC em ambas as análises (mensal e anual), como o índice que apresenta resposta significativa para a região, em seguida o MD se destacou na análise mensal, e o IPN na anual.

Quadro 7. Classificação mensal dos Índices de Seca na escala de 1980 a 2019.

Índices	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
IAC	-1,3	0,1	2,2	2,2	2,1	4,1	3,5	0,0	-2,3	-3,4	-3,5	-2,8
	SF	CF	CM	CM	CM	CM	CF	SE	SE	SE	SE	SE
IPN	0,69	1,04	1,53	1,52	1,49	1,93	1,77	1,00	0,42	0,16	0,14	0,31
	SF	CF	CE	CE	CE	CE	CM	SM	SE	SE	SE	SE
MD	4	6	9	8	7	10	10	5	3	1	1	2
	SF	CF	CE	CE	CM	CM	CF	SF	SM	SE	SE	SM

SE = Seca Extrema; SM = Seca Moderada; SF = Seca Fraca;
 CF = Chuva Fraca; CM = Chuva Moderada; CE = Chuva Extrema.
 Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através dos métodos utilizados nos IS, e da classificação proposta para os ISS, a área em estudo apresenta dois períodos distintos (Figura 30). O período úmido, possuindo seus máximos de precipitação entre os meses de março a julho; e o período seco de setembro a janeiro. destaca-se os meses de março e abril, caracterizados como EU, e OS meses de outubro e novembro ES, ou seja, o de maior carência hídrica.

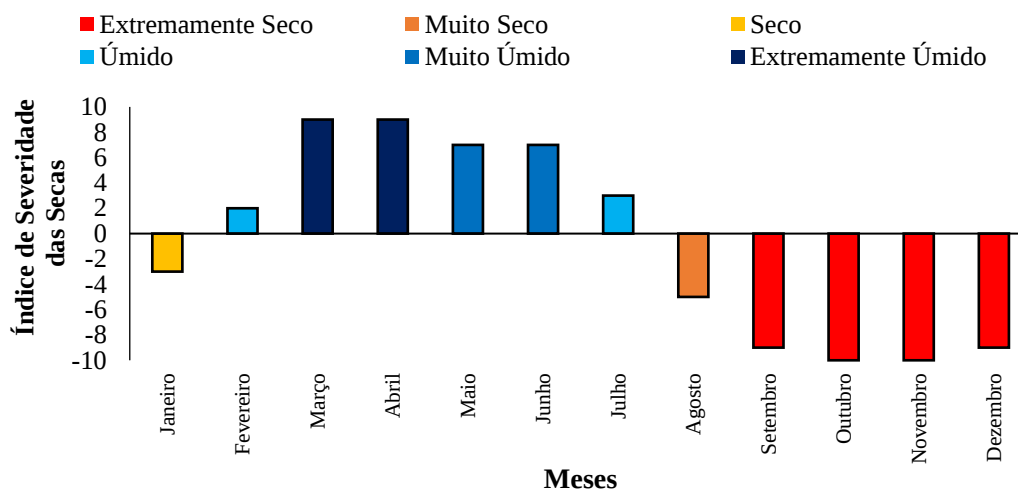
Vale enfatizar ainda, que os dados de precipitação (Figuras 11 e 14), apresentaram resultados idênticos ao dos ISS mensal (Figura 30). Pode-se assim afirmar, que a precipitação é o fator redundante do estudo, e tem relação direta com os resultados obtidos no decorrer da pesquisa, se correlacionando com as demais variáveis estudadas.

A variação de seis meses considerados úmidos e seis para secos, no decorrer dos meses, com destaque para os valores extremos de seca que ocorre de setembro a dezembro, variando de -9 a -10.

Nos meses com ISS úmidos, destaca-se os meses de março e abril, com valor de severidade de 9, de acordo com o estudo apresentado. essa variação ocorre de acordo com distintas áreas na região, como mencionado das isoietas mensais de precipitação (figuras 12 e 15). portanto, nesses meses ocorre uma maior dinamização de chuvas na região, com valores igualitários.

Constata-se ainda, que dentro dos meses analisados a classe de severidade S ocorreu em apenas um mês (Figura 30), diferente da escala anual (Figura 29) em que ela foi a mais representativa. Isto se deve ao fato que, no decorrer dos meses, o valor de severidade de cada índice é bem maior, o que no somatório final apresenta características mais próximas a classificações normais de S e U.

Figura 30. Índice de Severidade das Secas mensal da BHRPB conforme a nova classificação proposta.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além dos fatores já mencionados acima, pode-se destacar na análise mensal ainda alguns extremos (ES e EU) que apresentam 50 % dos valores ou 6 meses (4 ES e 2 EU). Já, para os demais, 50 % se encontram em períodos divididos proporcionalmente iguais, com 25 % para o MS (1 mês) e MU (2 meses); 25 % para S (1 mês) e U (2 meses).

Desta forma, pode se enfatizar que nos 50 % extremo, os valores negativos, ou seja, de seca, são bem mais elevados que os positivos de chuva, já nos 25 % de MS, MU, S e U, a variável positiva se tem em maior número do que a negativa. Diante disso, os extremos de seca são bem mais elevados e que trazem impactos na região, enquanto os valores de MU e U em suas perspectivas, apenas ameniza os problemas hídricos nos meses mencionados.

Diante desses resultados, torna-se indispensável que, no gerenciamento dos reservatórios, com o monitoramento das condições da qualidade das águas, seja realizado correlações com as características climáticas, em relação aos índices de seca, para enfim, verificar se existe uma relação, e dessa forma, que os gestores possam produzir prognósticos sobre a qualidade das águas.

Espera-se, que no gerenciamento dos recursos hídricos da região, políticas que priorizem a conservação d'água nos períodos de escassez sejam mais efetivados, como também, um uso mais adequado nos períodos de maior acúmulo de água, priorizando o uso múltiplo da água beneficiando dessa forma a permanência do homem no campo e o desenvolvimento socioeconômico.

Logo, os resultados obtidos podem contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos, reduzindo os impactos na qualidade das águas de rios e reservatórios e,

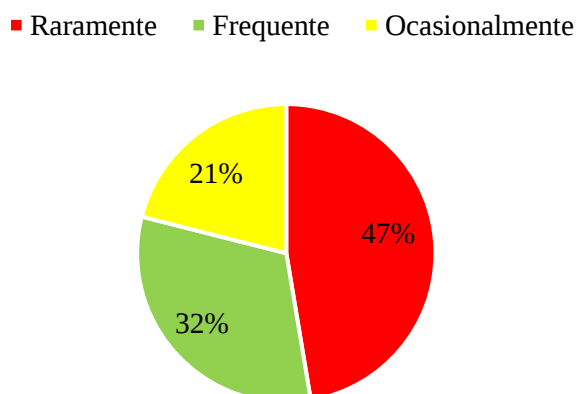
consequentemente, melhorando a à saúde pública e equilíbrio dos ecossistemas (ROSA et al., 2016). Além disso, enfatizar a importância das atividades agrícolas, e as práticas de controle da produção, e auxiliar na identificação das fragilidades climáticas da região.

5.11 Análise das Cianobactérias

O Quadro 8 (Apêndice), destaca a frequência de ocorrência de cianobactérias encontradas nos reservatórios da BHRPB analisados. Foram observados a presença de 58 espécies distintas de cianobactérias nos 4 reservatórios.

Das espécies observadas (Figura 31), cerca de 47 % raramente florescem (pouca frequência durante a análise estudada), 32 % florescem frequentemente (na maioria dos meses estão presentes), e 21 % florescem ocasionalmente (frequência média, aparecem em alguns meses e outros não).

Figura 31. Distribuição em % da ocorrência de espécies de cianobactérias nos reservatórios da BHRPB.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.11.1 Análise estatísticas da presença de cianobactérias nos reservatórios

Para esse estudo estatístico da presença de cianobactérias nos reservatórios, foi utilizado o *software Statistic 7*, através da análise de cluster. Um grupo (cluster) é um conjunto de objetos de informação onde cada objeto é semelhante entre outro objeto do mesmo grupo. O procedimento do método de clustre é repetido continuamente, até que os itens não estejam mais próximos de outros clusters (HAMMER, 2019). Assim sendo, os itens são movidos para o cluster que tem a média mais próxima do agrupamento.

Alguns métodos de estatística descritiva também foram abordados, por meio do *software Excel*, sendo possível abordar parâmetros, Tais como a média, mediana, desvio

padrão, assimetria e curtose dos valores observados de cianobactérias, presentes em cada reservatórios. Foi utilizado apenas o ano de 2016 na análise para os reservatórios de Acauã, Gavião e Massaranduba, e para Boqueirão, o ano de 2019. A utilização desses anos se deve ao fato de serem anos com dados mais consistente, ou seja, um ano com pouca ou quase nenhuma falha.

5.11.1.1 Reservatório de Boqueirão

Logo, de acordo com a análise descritiva dos dados (Tabela 5), foi possível observar que para o reservatório de Boqueirão, a média das cianobactérias por densidade de Cel/mL presente foi de 2392909,1, sua mediana 77501,3, desvio padrão de 8001359,2, a curtose 4,8 significando uma tendencia já que é maior que 0,263 ou seja, mais achatada, a assimetria foi de 1,8 sendo ela assimétrica positiva.

Tabela 5. Estatística descritiva das Cianobactérias do Reservatório de Boqueirão.

Medidas	Valores
Média	2392909,1
Mediana	77501,3
Desvio padrão	8001359,2
Curtose	4,8
Assimetria	1,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

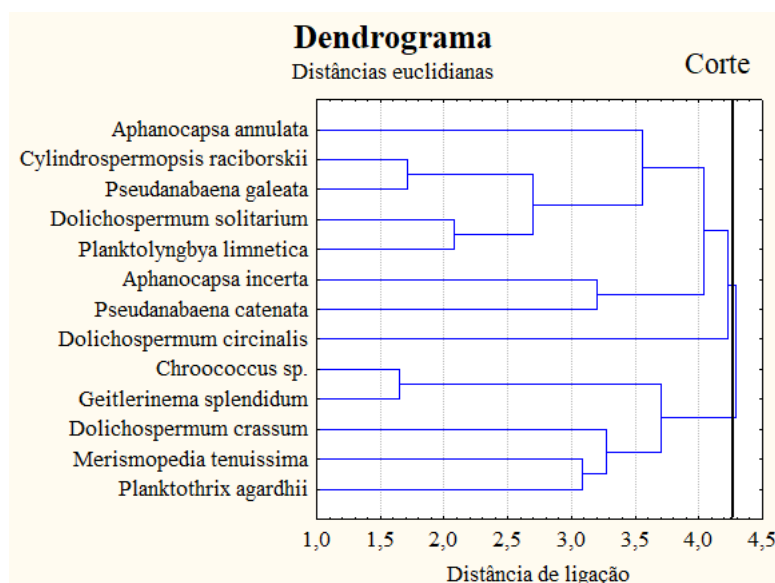
De acordo com a figura 32 do dendrograma do reservatório de boqueirão, pode-se destacar que o corte de quebras ocorre em 4,3, no qual apresenta uma divisão em dois grupos para o ano de 2019 analisado, sendo que esses dois grupos apresentaram subgrupos. Neste sentido, o primeiro grupo analisado é composto pelas seguintes espécies de cianobactérias: *Aphanocapsa Annulata* (1º subgrupo) / *Cylindropermopsis Raciborskii*/ *Pseudanabaena Galeata*/ *Dolichospermum Solitarium*/ *Planktolyngbya Limnetica* (2º subgrupo) / *Aphanocapsa Incerta*/ *Pseudanabaena Catenata* (3º subgrupo).

A espécie de Cianobactérias *Dolichospermum Circinalis* promove as divisões entre os grupos no ponto de corte, em 4,3. Além disso, vale destacar que dentro do primeiro grupo, no 2º subgrupo, existe mais dois subgrupos de cianobactérias, que apresentam similaridades, são eles: *Pseudanabaena Galeata*/ *Dolichospermum Solitarium* e o outro seria a *Dolichospermum Solitarium*/ *Planktolyngbya Limnetica* ambos pertencentes ao primeiro grupo e 2º subgrupo.

Por outro lado, o segundo grupo apresenta cinco tipos de cianobactérias, são elas: *Chroococcus Sp.*, *Geitlerinema Splendidum*, *Dolichospermum Crassum*, *Merismopedia Tenuissima* e *Planktothrix Agadhii*. Assim sendo, é possível evidenciar 3 subgrupos, o 1º *Dolichospermum Crassum*, o 2º *Merismopedia Tenuissima* e *Planktothrix Agadhii* e o 3º *Chroococcus Sp.*, *Geitlerinema Splendidum*, ambos com características próximas.

Portanto, os resultados para a análise de cianobactérias no reservatório de boqueirão para o ano de 2019, apresenta uma distribuição espacial de 13 espécies de cianobactérias, no decorrer de todo o ano, destacando-se, que os dados fornecidos pela CAGEPA, apresentavam a presença de outras cianobactérias, porém sem consistência das informações. Todavia, a presença desses dados é possível notar a distribuição de espécies distintas nesse reservatório, é possível analisar ainda que a grande quantidade de cianobactérias em um nível maior de concentração é localizada no período seco.

Figura 32. Dendrograma do reservatório de Boqueirão



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através da matriz de correlação descrita no Quadro 9 realizada é possível observar que, as cianobactérias com similaridades próximas (acima de 0,6) foram as espécies *Chroococcus Sp.* e *Geitlerinema Splendidum* com 0,887, e a *Cylindrospermopsis Raciborskii* apresentando correlações com a *Dolichospermum Solitarium* com 0,669 e com a *Pseudanabaena Galeata*.

Assim, a *Dolichospermum Solitarium* com a *Cylindrospermopsis Raciborskii* 0,669 e a *Planktolynghya Limnetica* com 0,804. Já a *Geitlerinema Splendidum* se correlaciona com a

Chroococcus Sp. com 0,877, *Planktolyngbya Limnetica* com a *Dolichospermum Solitarium* 0,804 e pôr fim a *Pseudanabaena Galeata* com *Cylindrospermopsis Raciborskii* a 0,867.

Quadro 9. Matriz de correlação das Cianobactérias presente no Reservatório de Boqueirão

Variável	AA	AI	CH	CR	DCR	DCI	DS	GS	MT	PL	PA	PC	PG
<i>Aphanocapsa annulata</i>	1,000	0,259	-0,125	0,094	-0,038	-0,489	0,423	-0,398	-0,046	0,306	-0,269	0,051	-0,054
<i>Aphanocapsa incerta</i>	0,259	1,000	-0,241	-0,300	-0,164	0,186	-0,319	-0,393	-0,320	-0,200	-0,317	0,535	-0,214
<i>Chroococcus sp.</i>	-0,125	-0,241	1,000	0,039	-0,158	-0,090	-0,193	0,877	-0,113	-0,104	0,152	-0,090	-0,038
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	0,094	-0,300	0,039	1,000	-0,340	-0,083	0,669	-0,035	-0,260	0,223	-0,393	-0,192	0,867
<i>Dolichospermum crassum</i>	-0,038	-0,164	-0,158	-0,340	1,000	-0,158	-0,260	-0,201	0,513	-0,168	0,398	-0,165	-0,122
<i>Dolichospermum circinalis</i>	-0,489	0,186	-0,090	-0,083	-0,158	1,000	-0,180	-0,116	-0,122	-0,111	-0,297	-0,094	-0,065
<i>Dolichospermum solitarium</i>	0,423	-0,319	-0,193	0,669	-0,260	-0,180	1,000	-0,257	-0,234	0,804	-0,188	-0,174	0,424
<i>Geitlerinema splendidum</i>	-0,398	-0,393	0,877	-0,035	-0,201	-0,116	-0,257	1,000	-0,052	-0,150	0,376	-0,140	-0,035
<i>Merismopedia tenuissima</i>	-0,046	-0,320	-0,113	-0,260	0,513	-0,122	-0,234	-0,052	1,000	-0,153	0,567	-0,121	0,064
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	0,306	-0,200	-0,104	0,223	-0,168	-0,111	0,804	-0,150	-0,153	1,000	0,163	-0,126	-0,006
<i>Planktothrix agardhii</i>	-0,269	-0,317	0,152	-0,393	0,398	-0,297	-0,188	0,376	0,567	0,163	1,000	0,013	-0,203
<i>Pseudanabaena catenata</i>	0,051	0,535	-0,090	-0,192	-0,165	-0,094	-0,174	-0,140	-0,121	-0,126	0,013	1,000	-0,132
<i>Pseudanabaena galeata</i>	-0,054	-0,214	-0,038	0,867	-0,122	-0,065	0,424	-0,035	0,064	-0,006	-0,203	-0,132	1,000

Descrição: AA - *Aphanocapsa annulata*/ AI - *Aphanocapsa incerta*/ CH - *Chroococcus sp.*/ CR - *Cylindrospermopsis raciborskii*/ DCR- *Dolichospermum crassum*/ DCI - *Dolichospermum circinalis*/ DS - *Dolichospermum solitarium*/ GS - *Geitlerinema splendidum*/ MT - *Merismopedia tenuissima*/ PL - *Planktolyngbya limnetica*/ PA- *Planktothrix agardhii*/ PC- *Pseudanabaena catenata*/ PG - *Pseudanabaena galeata*

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.11.1.2 Reservatório de Acauã

O reservatório de Acauã no ano de 2016 (Tabela 6) demonstrou os seguintes resultados da estatística descritiva, média de 699302,9, a sua mediana é 458909,0, o seu desvio padrão é de 621534,4, possui curtose de 0,7 sendo ela platicúrtica ou seja, é mais achatada pois é maior que 0,263 e sua assimetria é de 1,0 sendo simétrica pois está entre -1 e 1.

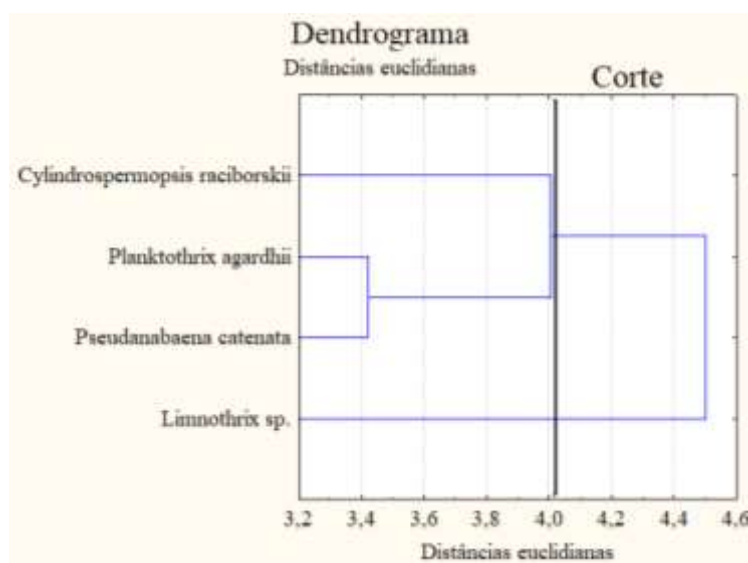
Tabela 6. Estatística descritiva das Cianobactérias do Reservatório de Acauã.

Medidas	Valores
Média	699302,9
Mediana	458909,0
Desvio padrão	621534,4
Curtose	0,7
Assimetria	1,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

No reservatório de Acauã, localizado entre o baixo/médio paraíba, apresentaram as seguintes cianobactérias nesta localidade, para o ano de 2016, ano no qual teve consistência de dados em relação a outros anos analisados, com as cianobactérias presente em todos os meses, as que não apareceram frequentemente, foram retiradas da análise.

Neste sentido as cianobactérias presentes foram a *Cylindrospermopsis Raciborskii*, *Planktothrix Agadhii*, *Pseudanabaena Catenata* E *Limnothrix Sp.* (Figura 33), neste sentido foram subdividas em dois grupos, sendo o primeiro formado por subgrupos, a *Cylindrospermopsis Raciborskii*, se difere da *Planktothrix Agadhii* e *Pseudanabaena Catenata*, porém pertence ao mesmo grupo, já a *Limnothrix Sp.*, pertence ao segundo grupo, esse recorte ocorre em 4,0. Assim, essas distâncias de similaridade de acordo com o dendrograma observada pela análise de *clurster*, pelas distancias euclidianas, explica a correlação das cianobactérias neste reservatório.

Figura 33. Dendrograma do reservatório de Acauã

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

De acordo com a Matriz de correlação do reservatório de Acauã (**Quadro 10**), nota-se uma correlação entre as cianobactérias *Limnothrix sp.* e *Planktothrix agardhii*, com 0,651, deste modo demonstrando uma correlação entre elas, assim destacando que nesse ano, a concentração dessas cianobactérias se assimila.

Quadro 10. Matriz de correlação das Cianobactérias presente no Reservatório de Acauã.

Variável	CR	LI	PA	PC
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	1,000	-0,320	0,270	0,216
<i>Limnothrix sp.</i>	-0,320	1,000	-0,651	0,079
<i>Planktothrix agardhii</i>	0,270	-0,651	1,000	0,468
<i>Pseudanabaena catenata</i>	0,216	0,079	0,468	1,000

CR - *Cylindrospermopsis raciborskii*/ LI - *Limnothrix sp.*/ PA - *Planktothrix agardhii*/ PE - *Pseudanabaena catenata*

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.11.1.3 Reservatório da Barragem Gavião

O reservatório de Gavião (Tabela 7) apresenta as seguintes características de uma estatística descritiva, média de 455890,6, a sua mediana é 232710,2, o seu desvio padrão é de 959841,0, possui curtose de -0,2 sendo ela leptocúrtica ou seja, mais afinada abaixo de 0,263 e sua assimetria é de 0,8 sendo simétrica pois está entre -1 e 1.

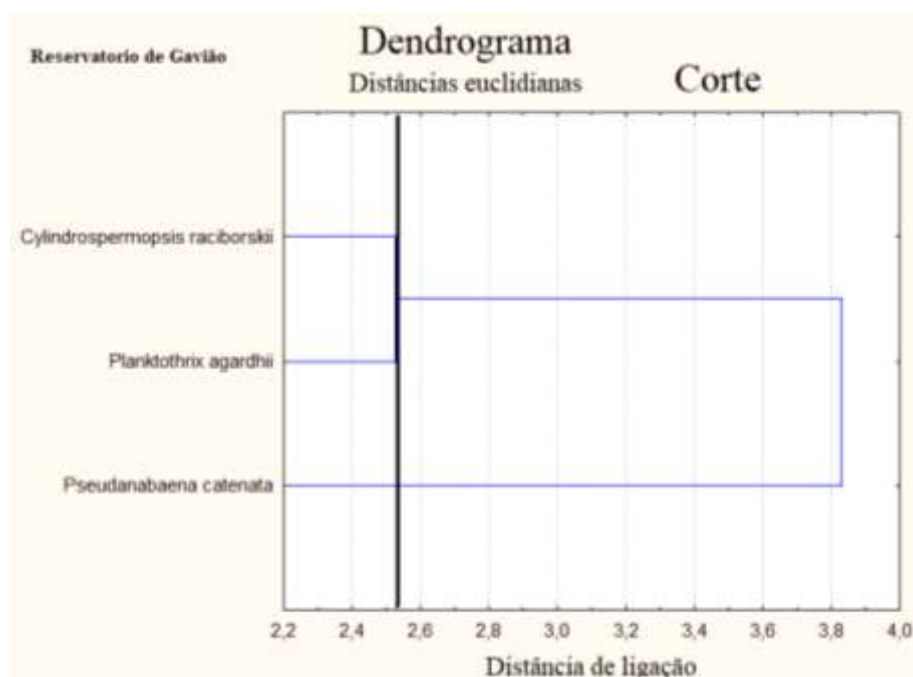
Tabela 7. Estatística descritiva das Cianobactérias do Reservatório de Gavião.

Medidas	Valores
Média	455890,6
Mediana	232710,2
Desvio padrão	959841,0
Curtose	-0,2
Assimetria	0,8

Fonte: Autoria Propria (2021)

No reservatório de Gavião, localizado entre o baixo/médio paraíba, exibiram as seguintes cianobactérias neste lugar (Figura 34), para o ano de 2016, ano no qual obteve coerência de informações em semelhança a outros anos avaliados, com as cianobactérias mencionadas presente em todos os meses, de maneira similar com os outros reservatórios, as que não apareceram frequentemente, foram removidas da análise.

Neste sentido as cianobactérias presentes foram a *Cylindrospermopsis Raciborskii*, *Planktothrix Agadhii* e *Pseudanabaena Catenata*, assim sendo foram subdividas em dois grupos, sendo o primeiro formado pelo *Cylindrospermopsis Raciborskii* e *Planktothrix Agadhii* e o segundo pelo *Pseudanabaena Catenata*, esse recorte ocorre em 2,5. Logo, essas distâncias de similaridade de acordo com o dendrograma observada pela análise de *clurster*, explica a correlação das cianobactérias neste reservatório.

Figura 34. Dendrograma da barragem de Gavião

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Já com relação a matriz de correlação das cianobactérias na **Quadro 11**, foi possível notar que a *Planktothrix agardhii* e *Cylindrospermopsis raciborskii* apresentam correlação de 0,710, assim neste ano essas cianobactérias possuem similaridades.

Quadro 11. Matriz de correlação das Cianobactérias presente na Barragem de Gavião.

Variável	CR	PA	PC
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	1,000	0,710	0,176
<i>Planktothrix agardhii</i>	0,710	1,000	0,333
<i>Pseudanabaena catenata</i>	0,176	0,333	1,000

CR - *Cylindrospermopsis raciborskii*/ PA - *Planktothrix agardhii*/ PE - *Pseudanabaena catenata*

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.11.1.4 Reservatório de Massaranduba

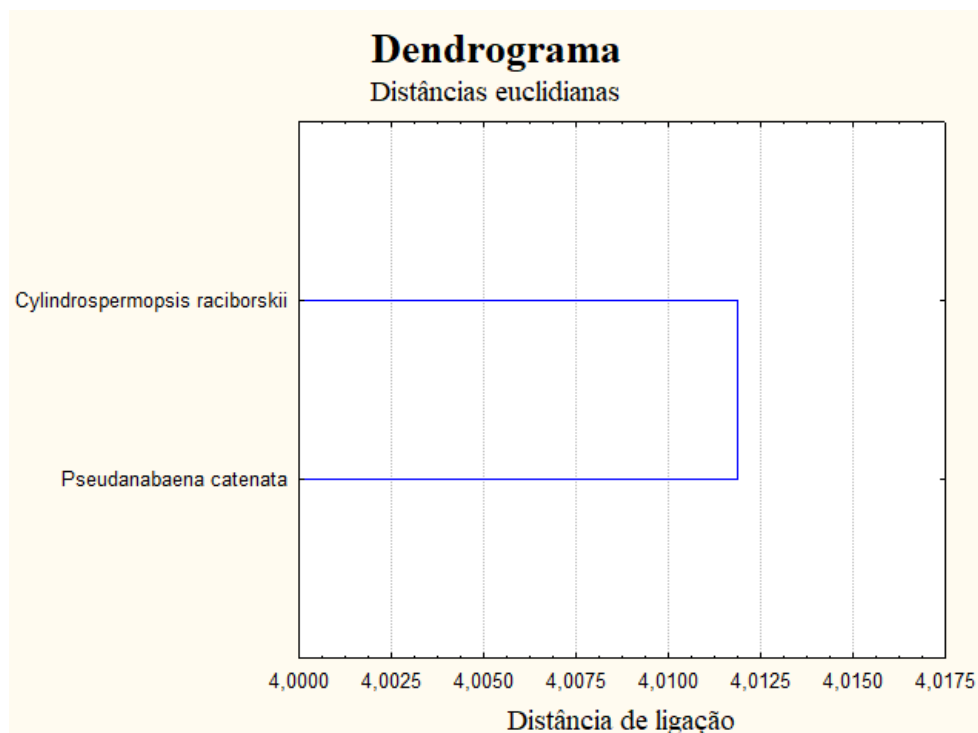
Por fim, o reservatório de Massaranduba Tabela 8 possui como estatística descritiva, a sua média de 704363,0, a sua mediana é 397056,0, o seu desvio padrão é de 717070,5, possui curtose de 0,1 sendo ela leptocúrtica ou seja, é mais afinada pois é menor que 0,263 e sua assimetria é de 0,8 sendo simétrica pois está entre -1 e 1.

Tabela 8. Estatística descritiva das Cianobactérias do Reservatório de Massaranduba.

Medidas	Valores
Média	704363,0
Mediana	397056,0
Desvio padrão	717070,5
Curtose	0,1
Assimetria	0,8

Fonte: Autoria Propria (2021)

No reservatório de Massaranduba, localizado entre o baixo/médio paraíba, exibiram as seguintes cianobactérias neste lugar (Figura 35), para o ano de 2016, ano no qual obteve nexo de dados em afinidade a outros anos avaliados. Além disso, esse reservatório só apresentou duas cianobactérias presente em todos os meses, sendo distinto assim dos demais, o que na base da estatística não se notou tanta diferença. Logo as cianobactérias encontradas foram as *Cylindrospermopsis Raciborskii*, e *Pseudanabaena Catenatam*, que de acordo com a distância euclidiana esse ponto se inicia 4.012.

Figura 35. Dendrograma do reservatório de Massaranduba

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com relação a Matriz de correlação do reservatório de Massaranduba (**Quadro 12**), não se tem tanta distinção visto que elas são separadas no mesmo ponto, o que assim faz com que não tenham diferenças.

Quadro 12. Matriz de correlação das Cianobactérias presente no reservatório de Massaranduba.

Variável	CR	PS
<i>Cyindrospermopsis raciborskii</i>	1,000	0,268
<i>Pseudanabaena catenata</i>	0,268	1,000

CR - *Cyindrospermopsis raciborskii*/ PE - *Pseudanabaena catenata*

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.11.2 Análise comparativa da presença de cianobactérias nos reservatórios e do Índice de Severidade das Secas

5.11.2.1 Correlação entre o ISS e Cianobactérias no reservatório de Boqueirão

De acordo com os valores obtidos do ISS, conforme nova metodologia proposta, aplicado a região da BHRPB (Figura 30), e em correlação com a análise de cianobactérias do reservatório de boqueirão Tabela 9 (Apêndice), foi possível notar que nos meses que apresentam classificação MU (maio e junho) e EU (março e abril), meses esses com maior quantidade de chuvas, a espécie de cianobactéria *Aphanocapsa incerta* se destaca em relação

as outras espécies. Além disso, ocorre um aumento na contagem de cianobactérias, causada pela espécie da *Pseudanabaena catenata*, onde no mês de junho apresenta uma alta proliferação. Deste modo, vale enfatizar que a mesma se sobressai sobre as demais espécies em comparação aos ISS, se destacando no período chuvoso.

Já no período seco, que são os meses que se apresentam Extremamente Secos (ES), período entre setembro a dezembro, o número de cianobactérias aumenta no reservatório, isto porque a quantidade de água diminui nos reservatórios aumentando a proliferação de distintas espécies, destacando-se a *Merismopedia tenuissima* em setembro e a *Dolichospermum circinalis* em dezembro, possuindo um aumento na quantidade se comparado a outros meses.

5.11.2.2 Correlação entre o ISS e Cianobactérias no reservatório de Acauã

Já com relação as cianobactérias do reservatório de Acauã na Tabela 10 (Apêndice), constata-se que a *Cylindrospermopsis raciborskii*, tem seus maiores valores entre novembro e dezembro, justamente no período ES, além de aparecer entre janeiro a março, com uma alta quantidade, fato que pode ser explicado pelo aumento das chuvas onde a quantidade de espécies vai se dispersando durante os meses EU intensos.

A *Pseudanabaena catenata* e a *Limnothrix sp.* também se destaca nos meses mais extremos do ISS, como é o caso de novembro, demonstrando-se assim que nesses meses extremos o aumento da concentração em cel/mL é maior.

Por outro lado, no período em que o ISS apresenta mais chuvas na região, constata-se que as concentrações de quase todas as espécies são menores, com destaque apenas para a *Limnothrix sp.* que no mês de maio apresenta uma alta concentração, a maior encontrada para o seu ano dentro do reservatório.

5.11.2.3 Correlação entre o ISS e Cianobactérias no reservatório de Gavião

De acordo com a Tabela 11 das cianobactérias do reservatório de Gavião, é possível notar que neste local, a presença de cianobactérias se apresenta de maneira distinta com relação aos outros reservatórios, isto porque as suas maiores concentrações estão presentes entre janeiro a abril, ou seja, entre a transição do período Extremamente Seco (ES) para o Extremamente Úmido (EU), o que de certo modo, pode se enfatizar que quanto maior a disponibilidade hídrica maior a quantidade de cianobactérias nestes reservatórios, o que de todo modo possui impactos negativos, apesar de uma maior quantidade de água.

Neste sentido quando o ISS está negativo, a quantidade de cianobactérias neste reservatório está baixa, o que varia proporcionalmente no período chuvoso. vale destacar que

nesse reservatório, apenas três espécies de cianobactérias foram apresentadas nas análises, visto que eram as que apareciam com mais frequência. Além disso, cabe destacar que a *Pseudanabaena catenata*, tem um aumento nos meses de novembro, o que não possui tanto efeito visto que no mês subsequente a análise diminui, assim como nos meses que antecede.

5.11.2.4 Correlação entre o ISS e Cianobactérias no reservatório de Massaranduba

Por fim, as cianobactérias presentes no reservatório de Massaranduba Tabela 12 (Apêndice), comparado ao ISS entre os períodos Extremamente Úmido (EU) e Extremamente Seco (ES), apresentaram duas cianobactérias, a *Cylindrospermopsis raciborskii* e a *Pseudanabaena catenata*, que as mesmas apresentam maiores valores no período chuvoso, já no período seco, apresenta a menor concentração de cel/mL, comparando-se assim com o reservatório de Gavião.

6. CONCLUSÕES

O estudo da pluviometria da BHRPB foi realizado nas sub-bacias, a análise temporal anual das regiões do alto paraíba, baixo paraíba e sub-bacia do Taperoá apresentaram 20 anos com precipitações acima da mediana e 20 anos abaixo. Em relação ao médio paraíba, a análise apresentou 21 anos abaixo da mediana e 19 acima.

A análise espacial da precipitação em cada região do alto, baixo, médio e da sub-bacia do Taperoá, apresentam características distintas em cada meses nas suas respectivas áreas, mostrando a sazonalidade da precipitação no decorrer do espaço, evidenciando os ciclos secos e úmidos.

Em relação aos dados de temperatura, resultados obtidos, para a análise temporal anual da TMín, TMáx e TMéd, demonstrou similaridades entre a TMéd e a TMín, no decorrer da série histórica, apesar de suas variações, porém, sem grandes variações nos seus valores em suas respectivas series. Já a TMáx, apresenta um aumento no decorrer dos anos, atingindo picos de 36 °C.

Foi possível comprovar, que a pluviometria mensal e TMéd mensal, quando comparada, apresentam uma correlação, sendo assim os meses que tiveram uma maior temperatura, são os meses mais secos, e da mesma forma, quando se tem uma maior precipitação o nível da temperatura diminui na BHRPB.

Na análise das isoietas mensais da TMéd, verificou-se que, a distribuição da temperatura na região geralmente ocorre de leste e noroeste, com os maiores valores de temperatura, por outro lado o sudeste e uma pequena parte do norte, se destacam como sendo as áreas de menor temperatura.

Já em relação a URA anual, apresentou uma média de 72 % para a região, com variações em alguns períodos entre 50% a 90%, apresentando variações dentro dos padrões da OMS.

Também, foi possível destacar a similaridade nos padrões de precipitação e a URA, ou seja, quando o nível de precipitação está elevado em algum mês, a URA também se demonstra elevada. Essa relação ocorre nos meses mais secos no qual a URA tende a ser menor.

Deste modo, analisando as isoietas espaciais mensais da URA foi possível notar que a área leste se destaca como as de maiores URA e a parte oeste, a de menor porcentagem, correlacionando diretamente com a precipitação e a temperatura, que possui seus valores máximos nessa localidade.

Em relação a nova proposição de IS na pesquisa, dinamizando os métodos do IAC, IPN e MD, contribuiu na simplicidade da análise. Sendo o método IAC, apresentando resultados

mais representativo na escala anual, e o MD na escala mensal. Porém, a alternância e a conjuntura dos três IS foram imprescindíveis para a formação do ISS.

Deste modo, utilizando a escala anual no ISS, foi possível evidenciar 26 anos secos e 14 anos úmidos, variando de ES a EU. Além disso, destaca-se que as variáveis “S e U” ocorreram em mais de 57,5 % para a BHRPB, “MS e MU”, apresentaram juntos 25 %, enquanto os anos de “ES e EU” apresentaram 17,5 %. Porém, são nessas conjunturas que necessitam de uma maior atenção por parte do gerenciamento dos recursos hídricos.

Em relação ao ISS mensal, seis meses se caracterizaram como “EU e ES”, três meses como “MS e MU” e três meses como “S e U”. Portanto, notasse que os valores extremos são mais passíveis de ocorrer na análise mensal do que anual, visto que sua intensidade e características no somatório é que forma a escala anual.

É possível constatar, que com a criação do ISS proposto, na tomada de decisões para gerenciamento hídrico, possibilita uma análise em comparações com diversos fatores ambientais, para verificar as condições do ambiente e na dinamização de outros índices como o de aridez. Além disso, servira para a correlação com as cianobactérias encontradas nos reservatórios.

De acordo com as análises estatísticas descritivas e de cluster, foi possível delimitar as informações acerca da assimetria e curtose das cianobactérias nesses reservatórios, assim como verificar a sua similaridade de grupos no decorrer das espécies analisadas.

Vale destacar que nos reservatórios de Borborema e Acauã, onde a quantidade de cianobactérias encontradas foram muitas, a variação demonstrou que o período seco que possui uma alta no ISS possui uma quantidade maior de concentração, e o período chuvoso com uma menor no ISS baixa concentração. Já os reservatórios de Gavião e Massaranduba, por terem uma quantidade menor de cianobactérias, obtiveram resultados inversos.

Por fim, as espécies que predominam nesta região são as *Cylindrospermopsis raciborskii* e a *Pseudanabaena catenata*, presentes em todos os reservatórios.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2019, 100p.
- ALMEIDA, A. L.; PASSIG, F. H.; PAGIORO, T. A.; NASCIMENTO, P. T. H.;
- CARVALHO, K. Q. Remoção de microcistina-LR da *Microcystis aeruginosa* utilizando bagaço de cana-de-açúcar in natura e carvão ativado. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 11, p. 188-197, 2016.
- ANDRADE, A. R.; PEREIRA, A. A. Dinâmica Temporo-Espacial da Precipitação na Região Centro-Sul do Paraná. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 4, p. 1399-1414, 2019.
- ARAÚJO, L. E.; BECKER, C.T.; PONTES, A. L. Periodicidade da precipitação pluviométrica no estado da Paraíba. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2003, Rio Grande do Sul. **Anais II. Santa Maria: RS**, p. 947–948, 2003.
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA F. A. S. Análise climática da bacia do rio Paraíba – Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 508-523, 2009.
- BARBOSA, V. V.; SOUZA, W. M.; GALVÍNCIO, J. D.; COSTA, V. S. O. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 353-367, 2016.
- BEHRENFELD, M.J. & BOSS, E.S. Student's tutorial on bloom hypotheses in the context of phytoplankton annual cycles. **Global Change Biology**, v. 24, p. 55–77, 2018.
- BHALME, H. N.; MOOLEY, D. A. Large-scale drought/floods and monsoon circulation. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 8, p. 1197-1211, 1980.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Cianobactérias/cianotoxinas: procedimentos de coleta, preservação e análise**. 1 ed. Brasília: Editora MS, 2015.
- CALADO, T. O.; E. A. T. MARQUES, E. A. T.; SOBRAL, M. C. Planos diretores na articulação da gestão de recursos hídricos com o uso do solo no entorno de reservatórios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 958-972, 2020.
- CARMICHAEL, W. W. & BOYER, G. L. Health impacts from cyanobacteria harmful algae blooms: Implications for the North American Great Lakes. **Harmful Algae**, v. 54, n. 3, p. 194-212, 2016.
- CIRILO, J. A. Crise Hídrica: Desafios e Superação. **Revista USP**, n. 106, p. 45-58, 2015.
- CRUZ, P. S. **Dinâmica de cianobactérias durante período de estiagem prolongada no semiárido brasileiro e suas implicações para a qualidade da água**. 2019. 109 p. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019.

COLVARA, W. A. Purificação de saxitoxinas partir de extratos da cepa de *Cylindrospermopsis* sp. isoladas no Brasil-RS. **Revista Thema**, v. 13, n. 1, p. 24-35, 2016.

COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p. 1321-1334, 2015.

COSTA, J. A.; DA SILVA, D. F. Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1002-1013, 2017.

CUNNINGHAM, C.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MARENGO, J.; COUTINHO, M. Climate Change and Drought in Brazil. In: Marchezini, B.; Wisner, B.; Londe, L. R.; Saito, S. M. (Org.). **Reduction of vulnerability to disasters: From Knowledge to action** São Carlos, Brasil: Editora RiMa, 2017. p. 361-375.

CUNHA, R. L. A. **Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas**. 2008, 147p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

DINIZ, R. R. S.; ALENCAR, M. L. S.; MEDEIROS, S. A.; GUERRA, H. O. C.; SALES, J. C. R. Índice de anomalia de chuvas da Microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2628-2640, 2020.

DIVISÃO regional do Brasil em **mesorregiões e microrregiões geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 137p.

DIVISÃO regional do Brasil em **regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 82p.

Duarte, J. G. P.; Farias, A. A.; Sousa, F. A. S.; Souza, J. T. A.; Ramos, M. M. Q. Secas e Impactos na Agropecuária no Município de Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, 289-297, 2018.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.; AMORIM, A.O. & CARDOSO, A.S. 2009. Índices para a quantificação da seca. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 48p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/663874>> Acesso em: 20 ago. 2020.

FERREIRA, P.S.; SOUZA, W. M.; SILVA, J. F. Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 33 n. 1 p. 141-152, 2018.

FERREIRA, C. C.; PIMENTEL, F. O.; VIANNA, Y. C. G. Proposta Metodológica Aplicada ao Estudo de Clima Urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2023-2040, 2019.

FLATO, M.; MUTTARAK, R.; PELSER, A. Women, Weather, and Woes: The Triangular Dynamics of Female-Headed Households, Economic Vulnerability, and Climate Variability in South Africa. **World Development**, v. 90, n. 17, p. 41–62, 2017.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R.M; SANTOS, D; MATOS, R. M. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 8, n. 4, p. 1006-1016, 2015.

FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia**, v. 19, p. 84-95, 2005.

GENUÁRIO, D. B.; LORENZI, A. S.; AGUJARO, L. F.; ISAAC, R. L.; AZEVEDO, M. T. P.; NETO, R. C.; FÁTIMA, M. F. Cyanobacterial community and microcystin production in a recreational reservoir with constant *Microcystis* blooms. **Hydrobiologia**, v. 779, p. 105–125, 2016.

GIBBS, W. J.; MAHER, J. V. **Rainfall deciles as drought indicators**. 1 Ed. Melbourne Commonwealth of Australia: Director of Meteorology, 1967.

GLORIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do Índice de Qualidade da Água - IQA. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, p. 103-119, 2017.

HAMMER, Ø. PAST - Paleontological STatistics: reference manual version 3.25. Oslo: **Natural History Museum**, University of Oslo, 2019.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil, 1981 – 2010**, Brasília. 2020. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/normais> > Acesso em: 22 fev. 2021

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change**. Edited by R.K. Pachauri and L.A. Meier. Geneva. 2014.

JUNQUEIRA, R. **Índices de severidade de seca para a bacia hidrográfica do rio Tocantins**. 2019. 78 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2019.

LAMB, P. J.; PEPPLER, R. A.; HASTENRATH, S. Interannual variability in the tropical atlantic. **Nature, London**, v. 322, n. 6076, p. 238-240, 1986.

LIMA, R. P. C. **Avaliação de Índices de severidade de seca na Bacia Do Rio Doce visando ao desenvolvimento de Sistema de Classificação de Secas**. 2016. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2016.

LIMA, B. P.; MAMEDE, G. L.; LIMA NETO, I. E. Monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida. **Revista Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 1, p.1 25-135, 2018.

LORENZI, A. S.; CORDEIRO-ARAÚJO, M. K.; CHIA, M. A.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C. Cyanotoxin contamination of semiarid drinking water supply reservoirs. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 16, p. 595, 2018.

MACHADO, L. S.; SANTOS, L. G.; DOVAL, J. C. L.; POMPÊO, M. L. M.; CARLOS, V. M. Fatores ambientais relacionados à ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas no reservatório de Guarapiranga, SP, Brasil. **Revista Ambiente Água**, v. 11, n. 4, p. 810-818, 2016.

MANIÇOBA, R. M.; SOBRINHO, J. E.; GUIMARÃES, Í. T.; JUNIOR, E. G. C.; SILVA, T. T. F.; ZONTA, J. H. Índice de anomalias de chuva para diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1110-1119, 2017.

MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. DE L.; CARDOSO, M. R. D.; TSCHIEDEL, A. F. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. In: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2012, João Pessoa. **Anais....** Porto Alegre: ABRH, 2012. v. 1. p. 1-20. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/1095>>. Acesso em: 28 Mout. 2021.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, Anhaeim, CA. Proceedings. Boston: **American Meteorological Soccity**, v. 8, p. 179-184, 1993.

MEDEIROS, R.M.; FRANCISCO, P.R.M.; SANTOS, D.; SILVA, L.L.; BANDEIRA, M.M. Variabilidade da Temperatura Média do Ar no Estado da Paraíba-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 128-135, 2015.

MENEZES, H. E. A.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, J. L. G.; LIMA, T. S. Variabilidade climática para o município de Patos, Paraíba, Brasil. **Revista Verde**, v. 10, n. 3, p. 37-41, 2015.

MESCHEDE, M. S. C., FIGUEIREDO, B. R., SEGURAMUÑOZ, S. I. Qualidade da água de consumo em escolas na região de Santarém, Amazônia, Brasil e implicações para saúde dos escolares. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 6, p. 1-19, 2018.

MOURA, A.N.; ARAGÃO-TAVARES, N.K.C; AMORIM, C.A. Cyanobacterial blooms in freshwater bodies from a semiarid region, Northeast Brazil: a review. **Journal of Limnology**, v. 77 n. 2, p. 79-188, 2018.

MUTHONI, F. K.; ODONGO, V. O.; OCHIENG, J.; MUGALAVAI, E. M.; MOURICE, S. K.; ZELEDON, I. H.; MWILA, M.; BEKUNDA, M. Long-term spatial-temporal trends and variability of rainfall over Eastern and Southern Africa. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, n. 3-4, p. 1869-1882, 2019.

NASCIMENTO, J. M.; FRADE, T. G.; SILVA, R. M. Modelagem da resposta do escoamento em uma bacia do semiárido da Paraíba utilizando o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 3, p. 1137-1150, 2018.

NASCIMENTO, M. B.; SILVA, J. M.; ARAÚJO, L. E. Análise da precipitação espaço-temporal do município de Queimadas-PB. In: Seabra, G. (Org.). **Mudanças Climáticas e Biodiversidade**. 1ed. Ituiutaba-MG: Barlavento, 2019. p. 594-602.

NASCIMENTO, M. B. DO; BANDEIRA, M. M.; ARAÚJO, L. E. DE. Variabilidade climática da precipitação do município de Areia/Paraíba, Brasil. **Gaia Scientia**, v. 13, n. 3, p. 24-37, 2019.

NASCIMENTO, M. B.; ALMEIDA, N. V.; ARAUJO, L. E. Análise da variabilidade da precipitação pluviométrica na microrregião de Umbuzeiro, Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 233-248, 2020.

NASCIMENTO, M. B.; SILVA, T. J. R. D.; MEDEIROS, J. L. S.; SANTOS, L. L. Análise temporal de fatores climáticos no município de São João do Cariri-PB no período entre 1980 A 2017. In: Seabra, G. (Org.). **TERRA - Vulnerabilidades e Riscos Ecológicos**. 1ed.Ituiutaba-MG: Barlavento, 2021. p. 949-959.

NDMC – National Drought Mitigation Center, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, EUA. Disponível em: <<http://drought.unl.edu>> Acesso em: 19 mai. 2020.

NERY, J. T.; SIQUEIRA, B. Índice de Anomalia de Chuva aplicado ao estudo das precipitações no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 772-788, 2020.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Revista Mercator**, v. 13, n. 1, p. 107-118, 2014.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático Oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 276-292, 2016.

NORONHA, G. C.; HORA, M. A. G. M.; SILVA, L. P. Análise do Índice de Anomalia de Chuva para a Microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 74-81, 2016.

NUNES, L. F. C. V.; MEDEIROS, P. H. A. Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 17, n. 18, p. 1-14, 2020.

OLIVEIRA, R. M. M., SANTOS, E. V. DOS, LIMA, K. C. Avaliação da qualidade da água do riacho São Caetano, de Balsas (MA), com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 523-530, 2017.

OLIVEIRA, T. A.; TAVARES, C. M. G.; SANCHES, F.; FERREIRA, C; C. M. Variabilidade pluviométrica no município de Juiz de fora-MG no período de 1910-2018: investigação a partir da técnica do box plot. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 457-478, 2020.

OMS, **Actas Oficiales de La OMS**. nº2, 2012. Disponível em:

<<http://www.who.int/library/collections/historical/es.>> Acesso em: 21 out. 2020

PADISÁK, J.; VASAS, G.; BORICS, G. Phycogeography of freshwater phytoplankton: traditional knowledge and new molecular tools. **Hydrobiologia**, v. 764, p. 3–27, 2016.

PALHARINI, R. S. A.; VILA, A. D. Climatological Behavior Precipitating Clouds in the Northeast Regions of Brazil. **Advances in Meteorology**, p. 1-12, 2017.

PALMER, W. C. Meteorological drought. Washington: 1965. 65 p.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base Científica das Mudanças Climáticas**. Primeiro Relatório de Avaliação Nacional. v. 1, 2014.

PEREIRA, M. L. T.; SOARES, M. P. A.; SILVA, E. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOUZA, W. M. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 394-402, 2017.

RAMOS, C., MENEZES, T., AGRELLI, A., ALVES, I., DA LUZ, J., DA SILVA, C., PINHEIRO, I.; JÁCOME JUNIOR, A. Cianobactérias e microcistina em águas de rio destinadas ao abastecimento de centro industrial de Caruaru, PE, Brasil. **Revista Vigilância Sanitária Em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2016.

RODRIGUES, L. O.; SOUZA, W. M.; COSTA, V. S. O.; PEREIRA, M. L. T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017.

ROSA, F.; DIAZ-BECERRA, O. A.; LUNKES, R. J. Saneamento básico: Análise da relação entre gastos públicos e atendimento à população em cidades brasileiras e peruanas. **Revista Científica General José María Córdova**, v. 14, n. 18, p. 195-213, 2016.

ROOY, M. P. V. A Rainfall anomaly index independent of time and space, **Notos**. v. 14, p. 43-48, 1965.

SILVA, C. M. L. F. **Mudanças climáticas e ambientais**: Contextos educacionais e históricos. Natal: Editora do IFRN, 2015. 329p.

SILVA FILHO, J. A.; FARIAS, C. A. S.; ARAÚJO, S. C. Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica no município de Pombal – PB. In: Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2., 2015, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realize, 2015. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/edicao/detalhes/anais-ii-wiasb>> Acessado em: 12/02/2021

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; DOS SANTOS, J.Y.G. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. **Int. J. Earth Sciences Research Journal**, v. 33, n. 2, p. 117-125, 2018.

- SILVA, F. F.; DOS SANTOS, F. A.; DOS SANTOS, J. M. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) aplicado ao estudo das precipitações no município de Caridade, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 426- 442, 2020.
- SOUSA, A. M. L.; ROCHA, E. J. P.; VITORINO, M. I.; SOUZA, P. J. O. P.; BOTELHO, M. N. Variabilidade espaco-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p.13-24, 2015.
- SOUZA, C. L. O.; NOGUEIRA, V. F. B.; NOGUEIRA, V. S. Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro entre os anos de 1984 e 2015. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 4, p. 740-747, 2017.
- TORQUATO, Francisco Alisson da Silva. **Influência dos parâmetros ambientais na composição do fitoplâncton do açude Jaburu I, Ceará, Brasil**. 2019. 69p. Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso de Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2019.
- VAN LOON, A. F. Hydrological drought explained. Wiley Interdisciplinary **Reviews: Water**, v. 2, n. 4, p. 359-392, 2015.
- XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCANLON, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2016.

APÊNDICE A. Tabela 1. Localização dos Municípios que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e suas delimitações regionais de acordo como o IBGE 1990 e 2017.

Municípios	Microrregião	Mesorregião	Região Geográfica Imediata	Região Geográfica Intermediária
Alagoa Grande	Brejo Paraibano	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Boa Vista	Campina Grande	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Campina Grande	Campina Grande	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Fagundes	Campina Grande	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Lagoa Seca	Campina Grande	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Massaranduba	Campina Grande	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Puxinanã	Campina Grande	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Queimadas	Campina Grande	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Serra Redonda	Campina Grande	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Olivedos	Curimataú Ocidental	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Pocinhos	Curimataú Ocidental	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Soledade	Curimataú Ocidental	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Barra de Santa Rosa	Curimataú Ocidental	Agreste Paraibano	Cuité-Nova Floresta	Campina Grande
Areial	Esperança	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Montadas	Esperança	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Mulungu	Guarabira	Agreste Paraibano	Guarabira	João Pessoa
Ingá	Itabaiana	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Itatuba	Itabaiana	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Riachão do Bacamarte	Itabaiana	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Itabaiana	Itabaiana	Agreste Paraibano	Itabaiana	João Pessoa
Mogeiro	Itabaiana	Agreste Paraibano	Itabaiana	João Pessoa
Salgado de São Félix	Itabaiana	Agreste Paraibano	Itabaiana	João Pessoa

Caldas Brandão	Itabaiana	Agreste Paraibano	João Pessoa	João Pessoa
Gurinhém	Itabaiana	Agreste Paraibano	João Pessoa	João Pessoa
Juarez Távora	Itabaiana	Agreste Paraibano	João Pessoa	João Pessoa
Aroeiras	Umbuzeiro	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Gado Bravo	Umbuzeiro	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Santa Cecília	Umbuzeiro	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Umbuzeiro	Umbuzeiro	Agreste Paraibano	Campina Grande	Campina Grande
Natuba	Umbuzeiro	Agreste Paraibano	Itabaiana	João Pessoa
Taperoá	Cariri Ocidental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Zabelê	Cariri Ocidental	Borborema	Monteiro	Campina Grande
Amparo	Cariri Ocidental	Borborema	Sumé	Campina Grande
Sumé	Cariri Ocidental	Borborema	Sumé	Campina Grande
Assunção	Cariri Ocidental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Camalaú	Cariri Ocidental	Borborema	Monteiro	Campina Grande
Monteiro	Cariri Ocidental	Borborema	Monteiro	Campina Grande
Ouro Velho	Cariri Ocidental	Borborema	Monteiro	Campina Grande
Prata	Cariri Ocidental	Borborema	Monteiro	Campina Grande
São João do Tigre	Cariri Ocidental	Borborema	Monteiro	Campina Grande
São Sebastião do Umbuzeiro	Cariri Ocidental	Borborema	Monteiro	Campina Grande
Livramento	Cariri Ocidental	Borborema	Sumé	Campina Grande
Parari	Cariri Ocidental	Borborema	Sumé	Campina Grande
São José dos Cordeiros	Cariri Ocidental	Borborema	Sumé	Campina Grande
Serra Branca	Cariri Ocidental	Borborema	Sumé	Campina Grande
Alcantil	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Boqueirão	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Cabaceiras	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Caraúbas	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande

Caturité	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Gurjão	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Riacho de Santo Antônio	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Santo André	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
São Domingos do Cariri	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
São João do Cariri	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Congo	Cariri Oriental	Borborema	Sumé	Campina Grande
Coxixola	Cariri Oriental	Borborema	Sumé	Campina Grande
Barra de Santana	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Barra de São Miguel	Cariri Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Junco do Seridó	Seridó Ocidental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Salgadinho	Seridó Ocidental	Borborema	Patos	Patos
Juazeirinho	Seridó Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Tenório	Seridó Oriental	Borborema	Campina Grande	Campina Grande
Cacimbas	Serra do Teixeira	Sertão Paraibano	Patos	Patos
Desterro	Serra do Teixeira	Sertão Paraibano	Patos	Patos
Teixeira	Serra do Teixeira	Sertão Paraibano	Patos	Patos
Bayeux	João Pessoa	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Cabedelo	João Pessoa	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
João Pessoa	João Pessoa	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Lucena	João Pessoa	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Santa Rita	João Pessoa	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Pedras de Fogo	Litoral Sul	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
São José dos Ramos	Sapé	Zona da Mata Paraibana	Itabaiana	João Pessoa
Cruz do Espírito Santo	Sapé	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Juripiranga	Sapé	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Mari	Sapé	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa

Pilar	Sapé	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Riachão do Poço	Sapé	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
São Miguel de Taipu	Sapé	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Sapé	Sapé	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa
Sobrado	Sapé	Zona da Mata Paraibana	João Pessoa	João Pessoa

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

APÊNDICE B. Tabela 2. Identificação (ID) das estações pluviométricas na BHRPB, coordenadas geográficas, latitude (°), longitude (°) e período da série temporal.

ID	Estações	Longitude (°, W)	Latitude (°, S)	Período
1	Alagoa Grande	-35,6311	-7,0367	1980-2019
2	Amparo	-37,0639	-7,5697	1980-2019
3	Araçagi	-35,3878	-6,8333	1980-2019
4	Areial	-35,9258	-7,0494	1980-2019
5	Aroeiras	-35,7111	-7,5458	1980-2019
6	Barra de Santana	-36,0008	-7,5217	1980-2019
7	Barra de Santa Rosa	-36,0564	-6,7289	1980-2019
8	Barra de São Miguel	-36,3181	-7,7517	1980-2019
9	Bayeux	-34,9383	-7,1336	1980-2019
10	Boa Vista	-36,2375	-7,2575	1980-2019
11	Boqueirão/Aç, Boqueirão	-36,1358	-7,4908	1980-2019
12	Cabaceiras	-36,2869	-7,4922	1980-2019
13	Cabedelo/CAGEPA	-34,8325	-6,9714	1980-2019
14	Cacimba de Areia	-37,1558	-7,1275	1980-2019
15	Caldas Brandão	-35,3244	-7,1025	1980-2019
16	Camalaú	-36,8256	-7,8900	1980-2019
17	Campina Grande/EMBRAPA	-35,9042	-7,2256	1980-2019
18	Campina Grande/São José da Mata	-35,9844	-7,1897	1980-2019
19	Campina Grande/Sítio Açude de Dentro	-36,0842	-7,3386	1980-2019
20	Caraúbas	-36,4903	-7,7253	1980-2019
21	Caturité	-36,0200	-7,4192	1980-2019
22	Congo	-36,6586	-7,8022	1980-2019
23	Coxixola	-36,6056	-7,6286	1980-2019
24	Cruz do Espírito Santo	-35,0911	-7,1408	1980-2019
25	Cubati	-36,3514	-6,8631	1980-2019
26	Desterro	-37,0881	-7,2903	1980-2019
27	Fagundes	-35,7844	-7,3586	1980-2019
28	Gado Bravo	-35,8322	-7,5986	1980-2019
29	Gurinhém	-35,4250	-7,1261	1980-2019
30	Gurjão	-36,4892	-7,2478	1980-2019
31	Ingá	-35,6119	-7,2925	1980-2019
32	Itabaiana	-35,3375	-7,3250	1980-2019
33	Itatuba	-35,6297	-7,3778	1980-2019
34	João Pessoa/DFAARA	-34,8333	-7,0833	1980-2019
35	João Pessoa/Mangabeira	-34,8131	-7,1972	1980-2019
36	João Pessoa/Mares	-34,9089	-7,1558	1980-2019
37	Juarez Távora	-35,5931	-7,1628	1980-2019
38	Juazeirinho	-36,5800	-7,0683	1980-2019
39	Junco do Seridó	-36,7131	-6,9950	1980-2019
40	Juripiranga	-35,2408	-7,3717	1980-2019
41	Lagoa Seca	-35,8572	-7,1556	1980-2019
42	Livramento	-36,9492	-7,3761	1980-2019
43	Mari	-35,3200	-7,0536	1980-2019
44	Massaranduba	-35,7344	-7,1808	1980-2019
45	Mogei	-35,4764	-7,3075	1980-2019

ID	Estações	Longitude (°, W)	Latitude (°, S)	Período
46	Montadas	-35,9419	-7,1053	1980-2019
47	Monteiro/EMBRAPA	-37,1269	-7,8850	1980-2019
48	Mulungu	-35,4692	-7,0311	1980-2019
49	Natuba	-35,5533	-7,6414	1980-2019
50	Olivedos	-36,2436	-6,9886	1980-2019
51	Ouro Velho	-37,1508	-7,6206	1980-2019
52	Parari	-36,6531	-7,3178	1980-2019
53	Pedras de Fogo	-35,1175	-7,4014	1980-2019
54	Pilar	-35,2608	-7,2675	1980-2019
55	Pocinhos	-36,0592	-7,0778	1980-2019
56	Prata	-37,0842	-7,6950	1980-2019
57	Puxinanã	-35,9594	-7,1472	1980-2019
58	Queimadas	-35,8897	-7,3606	1980-2019
59	Riacho de Santo Antônio	-36,1561	-7,6942	1980-2019
60	Salgadinho	-36,8453	-7,1022	1980-2019
61	Salgado de São Félix	-35,4344	-7,3558	1980-2019
62	Santa Rita	-34,9828	-7,1406	1980-2019
63	São Domingos do Cariri	-36,4311	-7,6331	1980-2019
64	São João do Cariri	-36,5286	-7,3825	1980-2019
65	São João do Tigre	-36,8472	-8,0800	1980-2019
66	São José dos Cordeiros	-36,8058	-7,3908	1980-2019
67	São José dos Ramos	-35,3728	-7,2475	1980-2019
68	São Miguel de Taipu	-35,2058	-7,2458	1980-2019
69	São Sebastião do Umbuzeiro	-37,0097	-8,1517	1980-2019
70	Sapé	-35,2233	-7,0925	1980-2019
71	Seridó	-36,4106	-6,8553	1980-2019
72	Serra Branca	-36,6600	-7,4819	1980-2019
73	Serra Redonda	-35,6797	-7,1861	1980-2019
74	Soledade	-36,3619	-7,0608	1980-2019
75	Soledade/Fz, Pendência	-36,4864	-7,1769	1980-2019
76	Sumé	-36,8964	-7,6736	1980-2019
77	Sumé/Fz, Bananeiras	-36,9631	-7,5069	1980-2019
78	Taperoá	-36,8281	-7,2164	1980-2019
79	Teixeira	-37,2497	-7,2217	1980-2019
80	Tenório	-36,6294	-6,9408	1980-2019
81	Umbuzeiro	-35,6642	-7,6958	1980-2019

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

APÊNDICE C. Tabela 3. Identificação (ID) das estações de temperatura e URA na BHRPB, coordenadas geográficas, latitude (°), longitude (°) e período da série temporal.

ID	Estações	Longitude (°, W)	Latitude (°, S)	Período
1	Alagoa Grande	-35,6206	-7,0394	1980-2017
2	Alcantil	-36,0511	-7,7367	1980-2017
3	Amparo	-37,0628	-7,5550	1980-2017
4	Areial	-35,9313	-7,0479	1980-2017
5	Araçagi	-35,3737	-6,8437	1980-2017
6	Aroeiras	-35,7066	-7,5447	1980-2017
7	Assunção	-36,7250	-7,0723	1980-2017
8	Barra de Santa Rosa	-36,0671	-6,7182	1980-2017
9	Barra de Santana	-35,9913	-7,5181	1980-2017
10	Barra de São Miguel	-36,3209	-7,7460	1980-2017
11	Bayeux	-34,9293	-7,1238	1980-2017
12	Boa Vista	-36,2357	-7,2637	1980-2017
13	Boqueirão	-36,1309	-7,4870	1980-2017
14	Cabaceiras	-36,2870	-7,4890	1980-2017
15	Cabedelo	-34,8584	-7,0583	1980-2017
16	Cacimba de Areia	-37,1563	-7,1213	1980-2017
17	Cacimbas	-37,0604	-7,2072	1980-2017
18	Caldas Brandão	-35,3272	-7,1025	1980-2017
19	Camalaú	-36,8242	-7,8850	1980-2017
20	Campina Grande	-35,8731	-7,2220	1980-2017
21	Caraúbas	-36,4920	-7,7205	1980-2017
22	Caturité	-36,0306	-7,4166	1980-2017
23	Congo	-36,6581	-7,7908	1980-2017
24	Coxixola	-36,6064	-7,6237	1980-2017
25	Cruz do Espírito Santo	-35,0857	-7,1390	1980-2017
26	Cúbati	-36,3619	-6,8669	1980-2017
27	Desterro	-37,0925	-7,2870	1980-2017
28	Fagundes	-35,7931	-7,3445	1980-2017
29	Gado Bravo	-35,7899	-7,5828	1980-2017
30	Gurinhém	-35,4222	-7,1233	1980-2017
31	Gurjão	-36,4923	-7,2483	1980-2017
32	Ingá	-35,6050	-7,2814	1980-2017
33	Itabaiana	-35,3317	-7,3317	1980-2017
34	Itatuba	-35,6380	-7,3812	1980-2017
35	João Pessoa	-34,8641	-7,1151	1980-2017
36	Juarez Távora	-35,5686	-7,1713	1980-2017
37	Juazeirinho	-36,5793	-7,0609	1980-2017
38	Junco do Seridó	-36,7166	-6,9927	1980-2017
39	Juripiranga	-35,2321	-7,3618	1980-2017
40	Lagoa Seca	-35,8491	-7,1554	1980-2017
41	Livramento	-36,9491	-7,3711	1980-2017
42	Lucena	-34,8748	-6,9026	1980-2017
43	Mari	-35,3180	-7,0594	1980-2017
44	Massaranduba	-35,7848	-7,1900	1980-2017
45	Mogeiro	-35,4832	-7,2852	1980-2017

ID	Estações	Longitude (°, W)	Latitude (°, S)	Período
46	Montadas	-35,9592	-7,0885	1980-2017
47	Monteiro	-37,1184	-7,8836	1980-2017
48	Mulungu	-35,4600	-7,0253	1980-2017
49	Natuba	-35,5586	-7,6351	1980-2017
50	Olivedos	-36,2410	-6,9843	1980-2017
51	Ouro Velho	-37,1519	-7,6160	1980-2017
52	Parari	-36,6522	-7,3098	1980-2017
53	Pedras de Fogo	-35,1065	-7,3911	1980-2017
54	Pilar	-35,2523	-7,2640	1980-2017
55	Pocinhos	-36,0668	-7,0666	1980-2017
56	Prata	-37,0801	-7,6883	1980-2017
57	Puxinanã	-35,9543	-7,1548	1980-2017
58	Queimadas	-35,9031	-7,3503	1980-2017
59	Riachão do Bacamarte	-35,6693	-7,2535	1980-2017
60	Riachão do Poço	-35,2914	-7,1417	1980-2017
61	Riacho de Santo Antônio	-36,1570	-7,6802	1980-2017
62	Salgadinho	-36,8458	-7,1010	1980-2017
63	Salgado de São Félix	-35,4305	-7,3534	1980-2017
64	Santa Cecília	-35,8764	-7,7389	1980-2017
65	Santa Rita	-34,9753	-7,1172	1980-2017
66	Santo André	-36,6213	-7,2202	1980-2017
67	São Domingos do Cariri	-36,4374	-7,6327	1980-2017
68	São João do Cariri	-36,5345	-7,3817	1980-2017
69	São João do Tigre	-36,8547	-8,0770	1980-2017
70	São José dos Cordeiros	-36,8085	-7,3878	1980-2017
71	São José dos Ramos	-35,3725	-7,2524	1980-2017
72	São Miguel de Taipu	-35,2016	-7,2476	1980-2017
73	São Sebastião do Umbuzeiro	-37,0138	-8,1529	1980-2017
74	Sapé	-35,2280	-7,0936	1980-2017
75	Serra Branca	-36,6660	-7,4803	1980-2017
76	Serra Redonda	-35,6842	-7,1862	1980-2017
77	Sobrado	-35,2357	-7,1443	1980-2017
78	Soledade	-36,3668	-7,0583	1980-2017
79	Sumé	-36,8840	-7,6621	1980-2017
80	Taperoá	-36,8245	-7,2063	1980-2017
81	Teixeira	-37,2525	-7,2210	1980-2017
82	Tenório	-36,6273	-6,9386	1980-2017
83	Umbuzeiro	-35,6582	-7,6920	1980-2017
84	Zabelê	-37,1057	-8,0790	1980-2017
85	Seridó	-36,4106	-6,8553	1980-2017

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

APÊNDICE D. Quadro 8. Identificação (ID) das espécies de Cianobactérias no período de 2015 a 2019 encontradas nos 4 reservatórios proposto na pesquisa que estão inseridos dentro da BHRPB e a frequência de aparecimento.

ID	Cianobactérias	Aparecimento
1	<i>Aphanizomenon sp.</i>	Raramente
2	<i>Aphanizomenon gracile</i>	Raramente
3	<i>Aphanocapsa annulata</i>	Raramente
4	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	Frequente
5	<i>Aphanocapsa elashia</i>	Ocasionalmente
6	<i>Aphanocapsa incerta</i>	Frequente
7	<i>Aphanocapsa koordersii</i>	Raramente
8	<i>Aphanothece sp.</i>	Raramente
9	<i>Aphanothece conglomerata</i>	Raramente
10	<i>Chroococcus dispersus</i>	Frequente
11	<i>Chroococcus limneticus</i>	Frequente
12	<i>Chroococcus sp.</i>	Frequente
13	<i>Coelomoron pusillum</i>	Raramente
14	<i>Coelomoron tropicalis</i>	Ocasionalmente
15	<i>Coelosphaerium evidenter</i>	Raramente
16	<i>Coelosphaerium sp.</i>	Ocasionalmente
17	<i>Cuspidothrix issatschenkoi</i>	Raramente
18	<i>Cuspidothrix tropicalis</i>	Ocasionalmente
19	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Frequente
20	<i>Dolichospermum circinalis</i>	Ocasionalmente
21	<i>Dolichospermum compactum</i>	Ocasionalmente
22	<i>Dolichospermum crassum</i>	Ocasionalmente
23	<i>Dolichospermum solitarium</i>	Frequente
24	<i>Dolichospermum planctonicum</i>	Raramente
25	<i>Eucapsis densa</i>	Raramente
26	<i>Geitlerinema amphibium</i>	Frequente
27	<i>Geitlerinema splendidum</i>	Frequente
28	<i>Komvophoron crassum</i>	Raramente
29	<i>Limnothrix planctonica</i>	Raramente
30	<i>Limnothrix sp.</i>	Ocasionalmente
31	<i>Merismopedia glauca</i>	Ocasionalmente
32	<i>Merismopedia minima</i>	Ocasionalmente
33	<i>Merismopedia punctata</i>	Raramente
34	<i>Merismopedia sp.</i>	Ocasionalmente
35	<i>Merismopedia tenuissima</i>	Ocasionalmente
36	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Raramente
37	<i>Microcystis panniformis</i>	Raramente
38	<i>Microcystis protocystis</i>	Raramente
39	<i>Mougeotia sp.</i>	Raramente
40	<i>Oscillatoria chalybea</i>	Raramente
41	<i>Oscillatoria lacustris</i>	Raramente

ID	Cianobactérias	Aparecimento
42	<i>Oscillatoria limosa</i>	Frequente
43	<i>Oscillatoria perornata</i>	Raramente
44	<i>Oscillatoria tenuis</i>	Raramente
45	<i>Planktolyngbya sp..</i>	Ocasionalmente
46	<i>Planktolyngbya contorta</i>	Frequente
47	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Frequente
48	<i>Planktothrix agardhii</i>	Frequente
49	<i>Planktothrix isothrix</i>	Frequente
50	<i>Pseudanabaena catenata</i>	Frequente
51	<i>Pseudanabaena galeata</i>	Frequente
52	<i>Pseudanabaena mucilica</i>	Raramente
53	<i>Radiocystis fernandoi</i>	Ocasionalmente
54	<i>Romeria victoriae</i>	Raramente
55	<i>Snowella lacustris</i>	Raramente
56	<i>Sphaerocavum brasiliensis</i>	Raramente
57	<i>Spirulina major</i>	Raramente
58	<i>Spirulina sp</i>	Raramente

Frequência de Cianobactérias: Raramente (menor frequência) / Ocasionalmente (média frequência) / Frequente (máxima frequência)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

APÊNDICE E. Tabela 9. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Boqueirão em 2019.

Cianobactérias/ Meses	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19
<i>Aphanocapsa annulata</i>	90,000	128,000	128,000	144,887	144,887	94,991	80,013	18,990	103,108	69,505	32,298	15,808
<i>Aphanocapsa incerta</i>	53,395	51,095	662,000	3,694	929,000	929,000	372,000	2,917	2,917	6,873	6,873	515,000
<i>Chroococcus sp.</i>	4,302	1,738	2,058	2,658	13,072	8,730	5,461	10,629	13,372	1.726,818	6,352	7,199
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	689,203	211,196	97,993	187,340	142,288	60,631	23,830	62,860	52,533	190,563	169,930	120,558
<i>Dolichospermum crassum</i>	35,051	35,051	7,054	19,271	1,169	1,169	646,000	124,000	468,000	4,467	8,831	6,649
<i>Dolichospermum circinalis</i>	3,666	3,666	3,666	2,821	4,559	1,200	2,879	2,039	2,530	3,513	4,497	859,000
<i>Dolichospermum solitarium</i>	42,740	53,619	11,319	23,241	4,530	2,627	1,241	2,896	2,100	1,862	2,177	2,268
<i>Geitlerinema splendidum</i>	35,845	35,845	46,780	46,780	13,975	33,926	26,892	218,696	21,252	402,052	91,418	42,813
<i>Merismopedia tenuissima</i>	5,448	6,543	4,354	4,354	10,922	3,310	1,655	331,000	993,000	5,499	11,659	3,437
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	1.643,355	8.996,072	777,205	206,886	734,587	172,770	141,926	420,545	182,538	385,511	207,969	295,955
<i>Planktothrix agardhii</i>	64,354	424,730	5,069	55,605	253,460	282,985	331,918	691,006	520,733	372,316	211,148	79,139
<i>Pseudanabaena catenata</i>	22,010	336,955	20,603	26,464	201,390	347.554,611	10,860	55,839	22,953	73,845	72,043	50,724
<i>Pseudanabaena galeata</i>	441,989	42,613	103,276	25,497	66,022	52,584	21,099	113,728	118,514	86,269	46,886	76,293

Fonte: CACEPA 2021, e readaptado pelo autor (2022)

APÊNDICE F. Tabela 10. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Acauã em 2016

Cianobactérias/ Meses	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	3.446,604	3.446,604	3.446,604	1.771,794	793,314	476,010	863,838	669,924	612,630	730,556	3.359,786	7.020,653
<i>Limnothrix sp.</i>	7,009	7,009	7,009	7,009	701,932	354,471	308,869	331,670	452,747	324,658	694,923	250,961
<i>Planktothrix agardhii</i>	166,515	42,840	166,515	42,840	16,626	29,988	83,232	56,610	74,919	65,765	57,464	61,614
<i>Pseudanabaena catenata</i>	431,928	20,148	431,928	198,342	76,392	232,722	214,488	56,610	71,587	65,765	691,668	61,614

Fonte: CACEPA 2021, e readaptado pelo autor (2022)

APÊNDICE G. Tabela 11. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Gavião em 2016

Cianobactérias/ Meses	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	2.080,296	1.586,208	2.080,296	3.794,796	537,732	358,452	290,898	324,675	246,834	361,415	607,702	212,667
<i>Planktothrix agardhii</i>	99,909	99,909	99,909	99,909	99,909	66,606	6,222	36,414	3,315	14,438	7,023	8,259
<i>Pseudanabaena catenata</i>	699,318	123,408	699,318	22,032	360,675	191,354	15,426	103,390	59,408	202,740	524,772	286,428

Fonte: CACEPA 2021, e readaptado pelo autor (2022)

APÊNDICE H. Tabela 12. Densidades de cianobactérias (cel/mL) na Barragem de Massaranduba em 2016

Cianobactérias/ Meses	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	2.961,792	473,837	2.961,792	1.745,334	132,246	105,786	119,016	112,401	115,733	119,064	50,963	159,777
<i>Pseudanabaena catenata</i>	907,938	322,032	907,938	462,780	1.190,016	645,246	917,631	781,439	461,652	141,864	691,668	416,766

Fonte: CACEPA 2021, e readaptado pelo autor (2022)