



Universidade Federal da Paraíba

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Área de Concentração: Tecnologias ambientais para o desenvolvimento sustentável

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA NA BARRAGEM DE
CURIMATÃ E DOS IMPACTOS GERADOS POR CAMPINA
GRANDE EM TRECHO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA-PB**

ROSILENE BARROS GOMES

CAMPINA GRANDE, PB

2023

ROSILENE BARROS GOMES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA NA BARRAGEM DE
CURIMATÃ E DOS IMPACTOS GERADOS POR CAMPINA
GRANDE EM TRECHO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA-
PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título em Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva

CAMPINA GRANDE, PB.

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

G633a Gomes, Rosilene Barros.

Avaliação da qualidade de água na Barragem de Curimatã e dos impactos gerados por Campina Grande em trecho do médio curso do Rio Paraíba-PB / Rosilene Barros Gomes. - Campina Grande, 2023.

119 f. : il.

Orientação: Maria Cristina B. Crispim da Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Rio Paraíba. 2. Monitoramento Limnológico. 3. Índice de estado trófico (IET). 4. Barragem Curimatã. 5. Qualidade de água - Impacto ambiental. I. Silva, Maria Cristina B. Crispim da. II. Título.

UFPB/BC

CDU 502.51(282)(043)

ROSILENE BARROS GOMES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA NA BARRAGEM DE
CURIMATÃ E DOS IMPACTOS GERADOS POR CAMPINA
GRANDE EM TRECHO DO MÉDIO CURSO DO RIO PARAÍBA-PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título em Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Trabalho Aprovado. João Pessoa, 31 de Agosto de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



MARIA CRISTINA BASÍLIO CRISPIM DA SILVA

Data: 04/06/2024 10:23:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva

(Orientadora)

Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente



ULRICH VASCONCELOS DA ROCHA GOMES

Data: 03/06/2024 10:18:58-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes

Universidade Federal da Paraíba

Prof^a. Dr^a. Danielle Machado Vieira

Universidade Federal da Paraíba

-Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar".

Josué 1:9

AGRADECIMENTOS

"A Deus quero dedicar esse momento tão especial da minha vida. Obrigada por guiar meus passos, iluminando e conduzindo-me pelos melhores caminhos. Sou grata pelo dom da vida, pela saúde, pela família e pelos amigos que tenho ao meu lado.

Aos meus pais, Lúcia (*In memoriam*) e Manoel, por terem me criado com tanto carinho e amor. Aos meus irmãos, pelos momentos que me fizeram sentir mais forte, fazendo-me acreditar que dias melhores virão. Amo vocês incondicionalmente.

Aos meus amigos -superpoderosos (as) que me ajudaram a concluir essa pesquisa, sem vocês não teria conseguido. Meus sinceros agradecimentos: Luana, Clarisse, Flávia, Randolpho, Sérgio e especialmente à minha professora Cristina.

A todo o grupo LABEA (Laboratório de Ecologia Aquática) pela partilha de conhecimentos, amizade, apoio, pelas alegrias e pelos momentos de diversão.

À Banca Examinadora, Profa. Dra. Danielle Machado e Prof. Dr. Ulrich Vasconcelos, pela prontidão em aceitar o nosso convite. Terei muita satisfação em poder contar com as valiosas contribuições que virão.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), minha gratidão e meu orgulho pelas lições aprendidas com os melhores (CAPES NOTA 4) dessa área tão linda e essencial.

À MINHA ORIENTADORA, Profa. Dra. Maria Cristina, gostaria de expressar minha sincera apreciação por ter me aceitado como sua orientanda. Sua disposição em me orientar em minha jornada acadêmica é algo pelo qual sou imensamente grata. Sigo motivada pelo seu exemplo de Professora e de Pessoa! Muito obrigada, Professora Cristina!

Por fim, quero expressar meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho, mesmo que não tenham sido mencionados individualmente. Agradeço profundamente pela colaboração e apoio oferecidos ao longo deste processo.

RESUMO

O lançamento de efluentes domésticos sem tratamento apropriado tem contribuído para uma série de problemas na saúde ambiental e humana. O tratamento desses efluentes domésticos ocorre através do sistema de saneamento básico, no entanto este é pouco eficiente e ausente em muitos locais. Assim, o principal objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade de água em trecho do médio curso do Rio Paraíba-PB, na Barragem de Curimatã, que é utilizada como área de lazer para balneabilidade, por moradores e turistas e antes e após a confluência do Riacho Bodocongó, que traz muito esgoto não tratado de Campina Grande, de forma a avaliar o impacto da cidade de Campina Grande no Rio Paraíba, no trecho de Barra de Santana-PB. Os critérios para a escolha do local do estudo foram por apresentar a jusante da confluência uma área de uso balnear importante para a região. Esta pesquisa foi realizada entre os meses de março e abril de 2022 e janeiro, março e abril de 2023, as coletas foram realizadas em triplicatas, sempre entre 11:00h e 15:00h, no período da tarde. Para a análise de dados, o material coletado foi armazenado em garrafas de polietileno, previamente lavadas em ácido clorídrico, devidamente identificadas e levadas para o Laboratório de Ecologia Aquática da UFPB, para análises posteriores. De acordo com os resultados registrados, as variáveis de qualidade da água, indicaram uma degradação do Rio Paraíba, especificamente na confluência do Rio Paraíba com o Riacho Bodocongó, confirmando o impacto negativo da cidade de Campina Grande sobre a qualidade de água do Rio Paraíba, no entanto, o rio apresenta capacidade de autodepuração, melhorando na área da barragem. Portanto, as características da água do Rio Paraíba, analisadas neste trabalho, apontam para a necessidade de tratamento das águas do Riacho Bodocongó, e redução da carga orgânica lançada neste, para que seja adequado aos múltiplos usos e possa oferecer serviços ecossistêmicos que um rio desse porte deve prover. Neste sentido, faz-se necessário a utilização de tecnologia sustentável eficiente e de baixo custo, para proporcionar a despoluição das águas do Rio Paraíba. A construção de fossas ecológicas para reduzir a entrada de nutrientes e a Biorremediação com uso de biofilme no próprio rio são propostas para proporcionar a melhoria na qualidade ambiental para o Rio Paraíba até a barragem, que é usada para balneabilidade dos moradores locais e turistas, uma vez que, os sistemas de tratamento devem propiciar condições viáveis ao uso recreativo e se possível ao uso para consumo, necessários numa região semiárida.

Palavras-chave: Rio Paraíba, Monitoramento Limnológico, Índice de estado trófico (IET)

ABSTRACT

The release of domestic effluents without proper treatment has contributed to a series of environmental and human health problems. The treatment of these domestic effluents occurs through the basic sanitation system. Nevertheless these systems are inefficient or absent in several localities. Thus, the main objective of this work is to evaluate the water quality in the middle section of the Paraíba River-PB, in Curimatã Dam which is used for bathing by locals and tourists and before and after the confluence of the Bodocongó stream, which brings a lot of untreated sewage from Campina Grande, in order to evaluate the impact of the city of Campina Grande on the Paraíba River, in the stretch of Barra de Santana-PB. The criteria for choosing the study site were that it had a bathing area downstream from the confluence. This research was carried out between March and April 2022 and January, March and April 2023, collections were carried out in triplicate, always in the afternoon. For data analysis, the collected material was stored in polyethylene bottles, previously washed in hydrochloric acid, duly identified and taken to the UFPB Aquatic Ecology Laboratory for further analysis. According to the recorded results, the water quality variables indicated a degradation of the Paraíba River, specifically at the confluence of the Paraíba River with the Bodocongó Creek, confirming the negative impact of the city of Campina Grande on the water quality of the river. Paraíba, however, the river has self-purification capacity, improving in the dam area. Therefore, the characteristics of the water of the Paraíba River, paths in this work, point to the need for treatment of the waters of the Bodocongó Creek, and reduction of the organic load released in it, so that it is suitable for multiple uses and can offer ecosystem services that a river of this postage must prove. In this sense, it is necessary to use sustainable, efficient and low-cost technology to provide the depollution of the waters of the Paraíba River. The construction of ecological pits in order to reduce the nutrients enter and Bioremediation in the river itself, using biofilm are proposed to improve the environmental quality of the Paraíba River up to the dam, which is used for bathing by local residents and tourists, since the treatment systems must provide viable conditions for recreational use and if possible for consumption, necessary in a semi-arid region.

Keywords: Paraíba River, Limnological Monitoring, Trophic State Index

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DA PARAÍBA, DESTACANDO-SE O MUNICÍPIO DE BARRA DE SANTANA.....	42
FIGURA2: PONTOS DE COLETA E RESPECTIVAS LOCALIZAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA/PB, EM TRECHO EM BARRA DE SANTANA E BARRAGEM DE CURIMATÃ/PB. (A) RPBARRA, LOCALIZADO DEPOIS DA ZONA URBANA, NO SÍTIO FEIJÃO; (B) RPRIMONT, LOCALIZADO DEPOIS DA ZONA URBANA, NO SÍTIO FEIJÃO; (C) RPONFL, LOCALIZADO NA ZONA URBANA, NA CIDADE BARRA DE SANTANA-PB	43
FIGURA 3: PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA CIDADE DE BARRA DE SANTANA ENTRE OS MESES DE MARÇO/ABRIL DE 2022 E JAN/ABRIL DE 2023.....	45
FIGURA 4: PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA CIDADE DE BARRA DE SANTANA ENTRE MESES DE MARÇO E ABRIL DE 2022 A 2023.....	48
FIGURA 5: CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (MG.L), NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB ENTRE MARÇO/ABRIL2022...	49
FIGURA 6: CONCENTRAÇÃO DO PH, NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.....	50
FIGURA 7: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (US.CM), DO RIO PARAÍBA, NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB, ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.	51
FIGURA 8: CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (MG.L) NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB, ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.....	53
FIGURA 9: CONCENTRAÇÃO DE NITRITO (MG.L-1), NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB, ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.....	54
FIGURA 10:CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (MG.L-1) NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.	56
FIGURA 11: CONCENTRAÇÃO DE ORTOFOSFATO (MG.L-1), NO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.	57
FIGURA 12:CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL (MG.L-1) NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB, ENTRE MARÇO/ABRIL 2022..	59
FIGURA 13: DENSIDADE DO ZOOPLÂNCTON TOTAL DO RIO PARAÍBA, EM TRECHO DA BARRAGEM DOFEIJÃO, ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.	60
FIGURA 14:DENSIDADE DAS ESPÉCIES DE CLADOCERA REGISTRADAS NO RIO PARAÍBA, NO TRECHO DA BARRAGEM DE CURIMATÃ, NO SÍTIO DO FEIJÃO ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.	61
FIGURA 15:DENSIDADE DOS GRUPOS DE COPEPODA E SUAS FASES LARVAIS NO RIO PARAÍBA, NO TRECHO DA BARRAGEM DO FEIJÃO, ENTRE MARÇO/ABRIL 2022.....	62
FIGURA 16:DENSIDADE DE ESPÉCIES DE ROTIFERA NO RIO PARAÍBA, NO TRECHO DA BARRAGEM DO FEIJÃO, ENTRE MARÇO/ABRIL 2022. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	64
FIGURA 17: VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA, PARAÍBA, JANEIRO, 2023.	72
FIGURA 18: VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA, PARAÍBA, JANEIRO, 2023	74
FIGURA 19: CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA - A DO RIO PARAÍBA NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO DE BARRA DE SANTANA/PB, JANEIRO, 2023.....	74
FIGURA 20: VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICOS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA, PARAÍBA, MARÇO, 2023.....	77

FIGURA 21: VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA, PARAÍBA, MARÇO, 2023.....	79
FIGURA 22: CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA - A DO RIO PARAÍBA NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA/PB, MARÇO, 2023	79
FIGURA 23: VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA, PARAÍBA, ABRIL 2023.....	81
FIGURA 24: VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA, PARAÍBA, ABRIL 2023.....	83
FIGURA 25. VARIAÇÃO DA CLOROFILA-A EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA.....	84
FIGURA 26: DENSIDADE DO ZOOPLÂNCTON TOTAL EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, ENTRE OS MESES DE JANEIRO, MARÇO E ABRIL DE 2023.	86
FIGURA 27: DENSIDADE DOS GRUPOS DE CLADOCERA EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, JANEIRO, 2023.	87
FIGURA 28: DENSIDADE DAS ESPÉCIES DE COPEPODA EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, JANEIRO, 2023.....	87
FIGURA 29: DENSIDADE DE ESPÉCIES DE ROTIFERA EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, JANEIRO, 2023.	88
FIGURA 30: DENSIDADE DAS ESPÉCIES DE CLADOCERA REGISTRADAS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, MARÇO, 2023.	89
FIGURA 31: DENSIDADE DAS ESPÉCIES DE COPEPODA REGISTRADAS NO RIO PARAÍBA, EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, MARÇO, 2023.....	90
FIGURA 32: DENSIDADES DAS ESPÉCIES DE ROTIFERA REGISTRADAS NO RIO PARAÍBA, EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, MARÇO, 2023.....	91
FIGURA 33- DENSIDADES DAS ESPÉCIES DE ROTIFERA MAIS ABUNDANTES, REGISTRADAS NO RIO PARAÍBA, EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA/PB MÊS MARÇO DE 2023.....	91
FIGURA 34- DENSIDADES DAS ESPÉCIES DE ROTIFERA MENOS ABUNDANTES, REGISTRADAS NO RIO PARAÍBA, EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA/PB MÊS MARÇO DE 2023.....	92
FIGURA 35: DENSIDADES DAS ESPÉCIES DE CLADOCERA REGISTRADAS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, ABRIL, 2023	93
FIGURA 36: DENSIDADES DAS ESPÉCIES DE COPEPODA REGISTRADAS NO RIO PARAÍBA, EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA EM BARRA DE SANTANA/PB, ABRIL, 2023.....	94
FIGURA 37 - DENSIDADE DAS ESPÉCIES DE ROTIFERA MAIS ABUNDANTES, REGISTRADAS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA/PB, ABRIL DE 2023.	94.
FIGURA 38: DENSIDADE DAS ESPÉCIES DE ROTIFERA MENOS ABUNDANTES, REGISTRADAS EM TRECHO DO MÉDIO RIO PARAÍBA, BARRA DE SANTANA/PB, ABRIL DE 2023.	95
FIGURA 39: CÍRCULO DE BANANEIRAS (B) E O TEVAP (C) TERMINADOS, SENDO VISITADOS.....	100
FIGURA 40: INSERÇÃO DE PEDRAS NO RIO DO CABELO (JOÃO PESSOA) PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DE ÁGUA	101
FIGURA 41: PLANTAS AQUÁTICAS NO RIO DO CABELO, JOÃO PESSOA, ANTES DA BIORREMEDIAÇÃO	102
FIGURA 42: RIO DO CABELO, JOÃO PESSOA, APÓS A INSERÇÃO DOS SUBSTRATOS ARTIFICIAIS PARA AUMENTO DA COMUNIDADE DE BIOFILME (BIORREMEDIAÇÃO)	102

FIGURA 43: COLORAÇÃO DA ÁGUA DO RIO CABELO NO P5 QUANDO FORAM COLOCADAS AS ESTRUTURAS (A) E APÓS 60 DIAS DE TRATAMENTO (B). DIVERSIDADE DE MACRÓFITAS APÓS A INSTALAÇÃO DO BIOTRATAMENTO NO P5 (C). PORÇÃO DO RIO EM QUE FORAM COLOCADAS PEDRAS, NAS MESMAS JÁ É VISÍVEL A PRESENÇA DE BIOFILME E ALGAS (P2) (D)..... 103

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS APRESENTADO AOS PADRÕES PARA A QUALIDADE DA ÁGUA CONFORME A RESOLUÇÃO CONAMA 357/200.....	18
QUADRO-2- PROPOSTAS SUBDIVISÕES EM RELAÇÃO À CLASSIFICAÇÃO BÁSICA DE ESTADO TRÓFICO DOS CURSOS DE ÁGUA.....	21
QUADRO 3- ETAPAS DO TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ESGOTO PARA REMOVER OS POLUENTES E IMPUREZAS PRESENTES NAS ÁGUAS RESSUDARIAS.....	31
QUADRO 4- ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA REMOVER OS POLUENTES E IMPUREZAS PRESENTES NAS ÁGUAS RESSUDARIAS.....	32
QUADRO 5- TECNOLOGIAS SOCIAIS UTILIZADAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS SEGUNDO AS NORMAS TÉCNICAS NBR 7229/93 E NBR13969/97.....	40
QUADRO 6 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESPECTIVOS MÉTODOS DE ANÁLISES, NO MÉDIO RIO PARAÍBA, NO TRECHO BARRA DE SANTANA, PARAÍBA, BRASIL.....	46

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE ANÁLISE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA – PB, EM TRECHO ENTRE BARRA DE SANTANA E BARRAGEM DE CURIMATÃ-PB	44
TABELA 2 - COMPARAÇÃO DOS VALORES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA ENTRE O TRECHO MÉDIO RIO PARAÍBA, COM OS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005 - ÁGUAS DOCES CLASSE 265.....	46
TABELA 3. COMPARAÇÃO DOS VALORES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA ENTRE O TRECHO MÉDIO RIO PARAÍBA, COM OS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005 - ÁGUAS DOCES CLASSE 2, MESE DE MARÇO/ABRIL2022.	69
TABELA4: COMPARAÇÃO DOS VALORES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA ENTRE O TRECHO MÉDIO RIO PARAÍBA, COM OS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005 - ÁGUAS DOCES CLASSE 2, MESES DE JANEIRO,	99

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 GERAL.....	14
2.2 ESPECÍFICOS	14
3 HIPÓTESE	14
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4.1 Escassez e Qualidade da Água no Semiárido Paraibano	15
4.2 Eutrofização: A poluição dos Ambientes Aquáticos	19
4.3 Garantindo a Sustentabilidade: Desafios e Estratégias na Gestão de Recursos Hídricos	24
4.4 O Tratamento Convencional de Esgoto: Processos e Desafios	29
4.5 O Rio Paraíba no Semiárido Paraibano	33
4.6 O Riacho Bodocongó.....	36
4.7 Fossas Ecológicas	38
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
5.1 Caracterização do local da Pesquisa	41
5.1.1 Caracterização de Área de Estudo	41
5.1.2 Caracterização do Município de Barra de Santana – PB	41
5.1.3 A Escolha do Local da Pesquisa.....	42
5.1.4 Amostragem	43
5.1.5. Avaliação da Qualidade da Água: Análise de Parâmetros Físicos e Químicos	46
5.1.6 Coletas de Amostra.....	47
6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	47
7 PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.....	48
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
CONCLUSÕES.....	104
REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

A água é considerada como recurso natural essencial para o desenvolvimento e manutenção da vida na Terra. No entanto, a população não está muito bem informada nem demonstra cuidado com os problemas agregados à poluição da água, não dando o devido valor a esse bem tão precioso.

Nos recursos hídricos, existem diversos problemas relacionados com os efluentes domésticos. Quando estes são lançados inadequadamente, provocam uma diversidade de problemas ambientais, sociais e econômicos. Recentemente, esses problemas vêm-se intensificando, pois o alto grau de poluição das águas sofre um processo acelerado de poluição, denominado de eutrofização (ARAÚJO et al., 2009).

Esse processo de eutrofização ocorre devido ao acúmulo de matéria orgânica, geralmente causada pelos efluentes, e as águas cinza provenientes das cidades, como esgotos domésticos e industriais, que são jogados diretamente nos rios sem tratamento prévio, resultando na diminuição da água disponível para uso, alterando sua qualidade e deixando-a eutrofizada (ALVES et al., 2016).

O acúmulo de matéria orgânica em ambientes aquáticos, especialmente em águas pouco movimentadas, como rios, lagos e represas, esse problema intensifica-se, resultando num aspecto turvo da água e mau odor, levando à perda da qualidade da água para diversos usos (OLIVEIRA et al., 2018), modificando suas características físicas, químicas e biológicas (TUNDISI et al., 1999; SOUZA et al., 2014). As modificações dos parâmetros na qualidade das águas em ambientes lóticos também acelera o processo de degradação dos recursos hídricos, diminuindo a qualidade da água, disponibilidade, a perda da biodiversidade, e a deterioração da pesca (BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013; SOUZA et al., 2014; BUCCI e OLIVEIRA, 2014).

Neste sentido, os ambientes lóticos são essenciais para detectar os impactos das ações antrópicas, uma vez que, analisar a qualidade das águas em rios é fundamental para avaliar os impactos socioambientais de ambientes poluídos, e ainda identificar os principais componentes responsáveis pela diminuição da qualidade da água (GARCIA et al., 2012).

Nos ambientes sob condições de semiáridade, como no nordeste brasileiro, a necessidade de manter os rios com melhor qualidade, para que possa ser usada as suas águas para os múltiplos usos é ainda mais importante.

Diante da problemática evidenciada e da necessidade de gerenciamento eficiente dos recursos hídricos, existe a limnologia, com a finalidade de analisar as relações entre água e biota, procurando soluções para diminuir os efeitos cumulativos dessas condições, em que os organismos servem como bioindicadores de impactos de poluição, servindo como alerta para alterações de qualidade de água. Neste contexto, o diagnóstico da qualidade de água mais acurado é essencial para oferta de múltiplos usos, além de facilitar o conhecimento da estrutura de comunidades planctônicas e as suas interações, uma vez que esses organismos apresentam elevada diversidade e estão relacionados com as características do meio ambiente (SANT'ANNA et al., 2013), sendo bons indicadores ambientais (BUCCI, 2014).

Dessa forma, a realização de um diagnóstico da qualidade da água se torna indispensável para embasar a implementação de ações voltadas ao gerenciamento eficiente dos recursos hídricos. Esse diagnóstico possibilita a avaliação da evolução da qualidade do corpo aquático, bem como o entendimento das tendências de variação ao longo do tempo. Dessa forma, diversos índices e indicadores ambientais foram desenvolvidos para a avaliação da qualidade da água, considerando suas características físicas, químicas e biológicas.

Dentro desta perspectiva, o presente estudo se consolidou pelo enfoque interdisciplinar, e foi norteado pelas seguintes perguntas: Qual a qualidade das águas em trecho do médio curso do Rio Paraíba-PB e corresponde com os respectivos limites para corpos hídricos de classe 2 (Classificação atual no trecho analisado) definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005? Quais são os impactos ambientais do afluente do Riacho de Bodocongó nesse trecho? Considerando-se que o estudo sobre a qualidade da água, é uma ferramenta de fundamental importância para nortear ações que possam atuar na conservação dos recursos hídricos, dado que, ressalta a necessidade de planejamento nas grandes cidades, faz-se necessário apresentar soluções para a mitigação dos impactos e melhoria da qualidade ambiental e social, favorecendo a proteção e gerenciamento equilibrados dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos.

Além disso, a Nova Agenda também conhecida como Agenda 2030, se preocupa com a existência de água potável e segura para todos, estando diretamente associado à disponibilidade de água e à oferta de saneamento básico, nomeadamente no esgotamento sanitário, uma vez que a sua falta pode levar à contaminação do solo, de rios e fontes de água para abastecimento, considerando que os açudes no semiárido

foram construídos para garantia de água para consumo humano. Por outro lado, os rios foram classificados na Classe 1 a 3, podendo manter essa qualidade, no entanto, essa qualidade da água pode variar em diferentes trechos do rio e ao longo do tempo, devido a vários fatores, como lançamento de efluentes domésticos, práticas agrícolas, entre outros. Portanto, é essencial que haja um monitoramento constante da qualidade da água e adoção de medidas de proteção e preservação para garantir que o Rio Paraíba mantenha a sua classificação de acordo com os padrões estabelecidos pela resolução acima citada. Assim, é importante averiguar o impacto causado pela presença de esgotos não tratados na cidade de Campina Grande, e até que ponto isso está afetando a qualidade de água e a respectiva classificação do Rio Paraíba, no trecho da cidade de Barra de Santana.

Esta pesquisa está em consonância com os seguintes Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU 4 (ODS): objetivo 3 — Saúde e bem-estar: objetivo 14: Vida na água (BRASIL, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- ❖ Avaliar a qualidade de água da Barragem Curimatã e o impacto causado por esgotos não tratados da cidade de Campina Grande sobre a qualidade das águas em trecho do médio curso do Rio Paraíba-PB e relacioná-lo com a sua classificação.

2.2 ESPECÍFICOS

- ❖ Analisar a qualidade de água na Barragem de Curimatã, usada para balneabilidade, baseado em indicadores químicos e biológicos;
- ❖ Analisar o impacto do afluente Riacho de Bodocongó na qualidade da água do Rio Paraíba no trecho do médio curso;
- ❖ Analisar a classificação do Rio Paraíba antes e após a confluência com o Riacho de Bodocongó;
- ❖ Propor medidas de manejo ambiental e ações de preservação que possam minimizar os impactos negativos identificados e promover a sustentabilidade ambiental na região;

3 HIPÓTESE

H1 - O Rio Paraíba nem sempre apresenta qualidade de água dentro de sua classificação.

H2 - O afluente Riacho Bodocongó é responsável pela perda de qualidade de água do Rio Paraíba no trecho do médio curso, resultando em alterações na qualidade da água.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Escassez e Qualidade da Água no Semiárido Paraibano

O Brasil é considerado a maior reserva hidrológica do mundo, detendo cerca de 12% de toda a água doce do planeta, a maioria encontrada em geleiras, lençóis freáticos, rios, e apenas uma pequena fração dessa água está acessível para uso humano direto (Agência Nacional da Água - ANA, Brasil, 2019). No entanto, a distribuição geográfica desses recursos é altamente irregular, especialmente nas regiões Semiáridas, onde as precipitações pluviométricas não são uniformes, o que se verifica no Brasil, as chuvas e a baixa pluviosidade são características marcantes do Semiárido Paraibano.

A falta de água é um problema recorrente nessa região, afetando tanto a população local quanto os ecossistemas e a agricultura. De acordo com dados de precipitação pluviométrica, essa região recebe, em média, menos de 800 mm de chuva por ano, mas no nordeste brasileiro tem regiões como no cariri paraibano que as precipitações médias são de 300 mm por ano (ALMEIDA, 2011).

A escassez e a qualidade da água são questões de extrema importância e representam desafios significativos no Semiárido Paraibano, uma região caracterizada por seu clima semiárido e pela irregularidade das chuvas. Essa escassez de água tem consequências diretas para a população, que enfrenta dificuldades para obter água potável em quantidade suficiente para as suas necessidades básicas.

De acordo com Silva (2012), a região Nordeste detém cerca de 3,3% da água do país, sendo considerada a região brasileira mais afetada pela escassez de recursos hídricos. Além da escassez, a qualidade da água também é um desafio no Semiárido Paraibano.

Essa região enfrenta uma série de desafios relacionados com a disponibilidade de água em quantidade suficiente e com a manutenção de sua qualidade para atender às necessidades da população, da agricultura e dos ecossistemas locais. Segundo Souza et al. (2011), o semiárido nordestino é uma das regiões que apresenta irregularidades no regime pluviométrico, devido às condições climáticas e geológicas existentes na região.

Assim como em qualquer região, a escassez de água no Semiárido Paraibano pode ter impactos significativos na população e em diversas áreas da sociedade. Segundo Rebouças (1997), a estiagem prolongada causa prejuízos à população local,

como perda de plantações e animais, acarretando em consequências sociais, econômicas, culturais e políticas.

As precipitações pluviométricas nessa região duram cerca de três a quatro meses e são inferiores a 800 mm, contribuindo para a escassez desse recurso essencial para os mananciais, como açudes, rios e barragens, bem como para o uso humano e animal (BRITO et al., 2005). Isso faz com que as taxas de evaporação sejam mais elevadas que a precipitação, dando um balanço negativo e levando a que muitos ambientes aquáticos sejam temporários.

O curto período e a irregularidade das precipitações, juntamente com altas taxas de evapotranspiração dos reservatórios e solos rochosos, são fatores que favorecem o comprometimento da qualidade dos recursos naturais, reduzindo a renovação de água (AZEVEDO et al., 2017). Portanto, é necessário prestar atenção a esses recursos hídricos tão preciosos para a humanidade, principalmente em relação às suas características qualitativas e quantitativas, pois são essenciais para a manutenção da vida.

Nessas condições, a avaliação do problema da água nessa região não pode mais se restringir ao simples balanço entre oferta e demanda, mas sim, entender que a longa estiagem provoca escassez de água nos reservatórios e dificulta a manutenção dos pequenos e médios açudes, que frequentemente secam completamente devido à alta taxa de evapotranspiração (SILVA et al., 2014).

Um exemplo disso é o açude Manoel Marcionilo em Taperoá, PB, que, de acordo com Barbosa (2002), apresentou perda de qualidade da água à medida que secava, chegando a valores de condutividade de $4000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, o que é limitante para muitas espécies. Crispim, Paz e Watanabe (2014) também demonstraram a redução da biodiversidade zooplancônica no Rio Taperoá durante o período de estiagem, com a perda das espécies indicadoras de melhor qualidade de água.

Apesar da escassez de chuvas, os açudes recebem uma abundância de efluentes domésticos vindos das grandes cidades, favorecendo a poluição de todo o sistema aquático. Neste sentido, o planejamento inadequado dos centros urbanos tem contribuído para alterações na qualidade da água, especialmente no que diz respeito ao tratamento inadequado dos resíduos líquidos, que são geralmente descartados nos rios sem qualquer tratamento prévio, contribuindo para o processo de eutrofização (BATISTA et al., 2016), transformando-se em paisagens degradadas, poluídas e que perdem a capacidade de fornecer os serviços ecossistêmicos.

A degradação dos ambientes aquáticos é um problema crescente em todo o mundo, e suas consequências vão muito além da aparência estética e da qualidade da água. Uma das manifestações mais evidentes da degradação é o mau odor característico que pode ser percebido em ambientes aquáticos poluídos. Esse odor desagradável geralmente é causado pela presença do gás sulfeto de hidrogênio (H_2S), que é produzido durante o processo de decomposição anaeróbica da matéria orgânica presente nos corpos d'água (GUNKEL ET AL., 2016). Além disso, o aumento de cianobactérias, potenciais produtoras de toxinas, pode causar doenças e mortalidade em animais (AZEVEDO, 2002), e até mesmo letalidade em seres humanos.

Um exemplo relatado por Teixeira et al. (1993) ocorreu no reservatório de Itaparica, na Bahia, onde florações de cianobactérias causaram a morte de 86 pessoas e intoxicação de outras 200 devido ao consumo de água contaminada. A poluição também está relacionada ao aumento de nitrato e à alteração da relação N/P, afetando o equilíbrio ambiental (MILESI et al., 2014).

O excesso de biomassa dos produtores primários em reservatórios está diretamente ligado ao aumento da eutrofização, impulsionada pela elevada concentração de nutrientes no ambiente aquático. Esse processo ocorre devido ao lançamento de efluentes domésticos não tratados, como os resíduos humanos, principalmente nos centros urbanos (SMITH & SCHINDLER, 2009).

Para minimizar os impactos negativos ao meio ambiente causados por esses lançamentos de efluentes domésticos, é necessário realizar estudos e implementar projetos voltados para o melhoramento da qualidade da água. Isso inclui o manejo e a gestão dos recursos hídricos, a aplicação de técnicas eficientes e economicamente viáveis, bem como a tomada de decisões com base em condições que permitam prever situações de risco (TREVISAN, 2011). No entanto, é importante ressaltar que não basta apenas ações de prevenção, medidas efetivas de despoluição dos ecossistemas aquáticos também são necessárias.

A verificação e o controle da qualidade dos recursos hídricos são fundamentais para garantir a preservação e o uso sustentável desses importantes ecossistemas. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece os parâmetros para avaliação da qualidade da água, considerando características físicas, químicas e biológicas. No Quadro 1, serão detalhadas algumas das principais características avaliadas em cada uma dessas categorias.

Quadro 1. Parâmetros Físicos e Químicos apresentado aos Padrões para a Qualidade da Água conforme a Resolução CONAMA 357/2005.

Parâmetros Físicos e Químicos do Monitoramento da Qualidade da Água		
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	A presença de oxigênio dissolvido é vital para os organismos aeróbios, sendo um indicador essencial para caracterizar os efeitos da poluição hídrica causada por despejos orgânicos.	(VON SPERLING, 1996).
TEMPERATURA	A concentração de oxigênio dissolvido pode tanto acelerar quanto retardar a velocidade das reações químicas, além de desempenhar um papel crucial na atividade biológica.	(VON SPERLING, 1996).
POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)	O indicativo de acidez ou alcalinidade em uma solução é determinado pela concentração dos íons de hidrogênio, expressa pelo valor de pH.	(AWWA, 1964)
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	A condutividade elétrica da água está diretamente relacionada à presença de íons dissolvidos, pois a água adquire a capacidade de conduzir corrente elétrica quando esses íons estão presentes.	(PETRUCIO, 2011);
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT)	Partículas dissolvidas, com exceção dos gases, são substâncias que se encontram em estado de dissolução no meio líquido.	(ESTEVES, 2011);
AMÔNIA (NH₃⁻)	Sob condições normais de temperatura e pressão, a substância em questão é altamente solúvel em água, especialmente em valores baixos de pH (ácidos).	(CETESB, 2019).
NITRITO (NO₂⁻)	É um intermediário no processo de conversão da amônia em nitrato e possui propriedades tóxicas.	(FRANCES et al., 1998).
NITRATO (NO₃⁻)	O íon nitrato sofre rápida oxidação para a forma de nitrato, especialmente nas águas superficiais, onde a concentração de nitrato geralmente é baixa (< 1 mg/L). O nitrato, por sua vez, atua como nutriente para as plantas, mas em excesso pode ser um indutor do processo de eutrofização.	(ESTEVES, AMADO, 2011).
ORTOFOSFATO (P-ORTO)	O fósforo inorgânico dissolvido, que inclui o íon fosfato disponível para as plantas, atua como um indutor da eutrofização quando presente em excesso.	(ESTEVES; PANOSSO, 2011).
FÓSFORO TOTAL (P – TOTAL)	A soma de todas as formas de fósforo, incluindo a fração presente nos seres vivos planctônicos, é representada pela expressão "fósforo total".	(ESTEVES; PANOSSO, 2011).
CLOROFILA - a	É um pigmento responsável pela coloração verde, Essa substância é de suma importância para os ecossistemas aquáticos e sua abundância pode indicar eutrofização.	(CETESB, 2009),
ZOOPLÂNCTON	A presença e diversidade desses organismos microscópicos, são importantes na cadeia alimentar e indicadores da saúde do ecossistema aquático.	(CETESB, 2009),

Fonte: Elaborado pela autora

Esses parâmetros mencionados são apenas alguns exemplos dos critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, que visam verificar o grau de perturbação dos recursos hídricos e identificar impactos ambientais causados pelo lançamento de efluentes domésticos (FARIAS 2006).

O monitoramento dos parâmetros físicos e químicos é um retrato instantâneo, as concentrações de nutrientes, pH ou oxigênio mudam ao longo de um dia, assim analisar a biota presente auxilia na interpretação das condições ambientais, visto que são

respostas mais duradouras (BUCCI, 2014). Nesse sentido, o monitoramento sistemático e comparativo das respostas das comunidades biológicas é essencial para avaliar a intensidade das mudanças ocorridas no ambiente aquático. Geralmente essas mudanças ocorrem devido ao lançamento dos efluentes domésticos sem tratamento prévio nos ecossistemas.

Apesar da existência de legislação que regulamenta a qualidade do lançamento de efluentes (Resolução CONAMA 430/2011), a contaminação dos rios tem levado a uma violação dos limites máximos permitidos para a sua classificação, indicando que as exigências para a manutenção da qualidade da água não estão sendo cumpridas.

É indiscutível a necessidade de tratar os efluentes, pois a poluição dos recursos hídrica afeta a qualidade de vida do meio ambiente e dos seres humanos. O tratamento adequado dos efluentes melhora os espaços públicos, a paisagem e protege os ecossistemas dependentes dos recursos hídricos (HOLZ, 2011), garantindo a provisão de serviços ecossistêmicos.

Para a gestão adequada e proteção dos ecossistemas aquáticos, bem como para assegurar a qualidade da água nos recursos hídricos, é imperativo estabelecer condições e padrões específicos para o lançamento de efluentes nos corpos hídricos receptores. Tal regulamentação é definida pela Resolução CONAMA nº 430/2011.

Conforme destacado por Sousa (2015), para melhorar a qualidade da água, é necessário controlar a entrada de efluentes domésticos nos ambientes aquáticos e investir na implantação de sistemas de tratamento desses efluentes, além de promover o saneamento básico, com ênfase no tratamento de esgoto, a fim de reduzir o processo de poluição dos ambientes aquáticos, como a eutrofização.

4.2 Eutrofização: A poluição dos Ambientes Aquáticos

Sabe-se que no Brasil, cerca de 23 milhões de pessoas que residem na zona rural não têm acesso ao saneamento básico, bem como à coleta de esgoto, enquanto nas grandes cidades brasileiras apenas 30% da população têm seus esgotos tratados adequadamente.

Infelizmente, a falta de acesso ao saneamento básico e a deficiência no tratamento de esgoto são problemas significativos no Brasil, o que tem favorecido o aumento da deposição indevida de rejeitos advindos do sistema de esgoto. Tal fato contribui com elevadas cargas orgânicas, gerando abundância de poluentes e nutrientes

para o leito dos rios que cortam essas áreas urbanas, provocando vários impactos ambientais (FARIAS 2011).

Os impactos ambientais causados pela falta de saneamento básico e tratamento inadequado de esgoto são significativos e abrangem diversos aspectos do meio ambiente, como poluição da água, degradação dos ecossistemas aquáticos, contaminação do solo, prejuízos à flora e fauna terrestres, e emissão de gases de efeito estufa.

Esses impactos geralmente são decorrentes do aumento da poluição nos rios, principalmente originada por esgotos ricos em nutrientes, têm provocado a abundância de algas e outros organismos, devido ao aumento de nutrientes no corpo de água, especialmente nitrogênio e fósforo, que são responsáveis pelo aumento da produção primária nos ambientes aquáticos. Esse fenômeno é conhecido como eutrofização (SANTANA, 2003).

Neste contexto, a principal causa da eutrofização é atribuída à atividade humana, englobando o descarte inadequado de esgotos domésticos e industriais sem tratamento adequado, a utilização excessiva de fertilizantes agrícolas e a disposição inadequada de resíduos orgânicos.

Esse acúmulo de nutrientes na água dos ecossistemas aquáticos leva ao aumento da produção primária e ao aumento do estado trófico, resultando na degradação da qualidade da água, que pode ser observada através de parâmetros como o aumento do pH, aumento da clorofila - *a*, redução de oxigênio, aumento de compostos nitrogenados e fosfatados (BUCCI et al., 2014).

As concentrações elevadas desses elementos promovem o acúmulo de nutrientes, desempenhando um papel crucial como os principais responsáveis pelo processo de eutrofização em diversos ambientes aquáticos. Essa situação suscita preocupações quanto ao elevado grau de poluição observado nos rios e em ecossistemas de água doce (TUNDISI, 2003).

A eutrofização é um processo de poluição que afeta os ambientes aquáticos, especialmente lagos, rios e lagoas. Esse fenômeno ocorre devido ao aumento excessivo de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, na água, resultando no crescimento descontrolado de algas e plantas aquáticas. Esses organismos em excesso afetam negativamente a qualidade dos corpos de água, reduzem a biodiversidade, afetam a pesca e aumentam a densidade de cianobactérias, que são potencialmente produtoras de

toxinas (LIMA et al., 2007) e podem causar acidentes incluindo com letalidade, como citado acima.

Além disso, a eutrofização também leva ao aumento da quantidade de macrófitas presentes, as quais, em altas densidades, também contribuem para a perda da qualidade da água (PÉREZ, 2015). A eutrofização é, de fato, um dos problemas ambientais mais significativos enfrentados atualmente em corpos de água em todo o mundo.

A eutrofização é considerada um exemplo visível das alterações causadas pelo homem na biosfera, devido às suas amplas consequências e impactos negativos. Segundo Smith e Schindler (2009), este emerge como um dos maiores desafios contemporâneos em corpos de água, representando um dos exemplos mais evidentes das alterações provocadas pelo ser humano na biosfera.

Para avaliar o grau de eutrofização em corpos aquáticos, utiliza-se a classificação em categorias de estado trófico, que geralmente são divididas em três níveis: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico. Essas categorias são baseadas na concentração de nutrientes e na produtividade biológica dos corpos de água, refletindo diferentes graus de eutrofização. Essa classificação tem como objetivo avaliar a qualidade da água, diferenciando os diferentes níveis tróficos. Segundo Carlson (1977), propôs a classificação baseada em alguns parâmetros como a transparência, as concentrações de clorofila - *a* e as concentrações de fósforo total.

Quadro-2. Propostas subdivisões em relação à classificação básica de estado trófico dos cursos de Água

ESTADO TRÓFICO	CARACTERÍSTICAS DOS RECURSOS HÍDRICOS	VALOR DO IET
ULTRAOLIGOTRÓFICO	Quando os níveis de nutrientes são baixos a ponto de não causarem impactos negativos nas utilidades da água, as águas são consideradas limpas.	IET ≤ 47
OLIGOTRÓFICO	Não há perturbações indesejáveis nos usos da água devido à baixa produtividade resultante da presença mínima de nutrientes.	47 < IET ≤ 52
MESOTRÓFICO	Frequentemente, a qualidade da água demonstra um moderado enriquecimento de nutrientes, com possíveis consequências para sua qualidade. Isso significa que o índice do Estado Trófico permanece em níveis aceitáveis na maioria das situações.	52 < IET ≤ 59
EUTRÓFICO	As ações humanas resultam em um aumento da produtividade e na diminuição da transparência da água, causando mudanças na qualidade da água devido ao aumento da quantidade de nutrientes.	59 < IET ≤ 63
SUPEREUTRÓFICO	Influenciados por ações humanas, esses ecossistemas frequentemente experimentam mudanças indesejáveis na qualidade da água, incluindo aumento da produtividade, redução da transparência e ocorrência de florações de algas.	63 < IET ≤ 67
HIPEREUTRÓFICO	Altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, juntamente com proliferações de algas e eventos de mortalidade de peixes, resultam em efeitos indesejáveis para os diversos fins de utilização desses ecossistemas.	IET > 67

Fonte: Adaptado de (CETESB, 2009), (LAMPARELLI, 2004).

Esta classificação é útil para compreender e monitorar os diferentes estágios de eutrofização em corpos de água, permitindo determinar em qual categoria do estado trófico o corpo de água se enquadra (LAMPARELLI, 2004) e possibilita comparações entre ambientes diferentes.

Nesse sentido, a análise desses parâmetros é fundamental para identificar as concentrações de nutrientes, biomassa de algas, transparência da água e outras características físicas, químicas e biológicas. Essas informações são valiosas para a gestão e conservação dos recursos hídricos, auxiliando na identificação de áreas que requerem medidas de controle e redução da eutrofização.

Apesar de ser reconhecida como um problema que afeta principalmente os corpos de água doce, a eutrofização não se limita apenas a esses corpos de água, como lagos, rios e reservatórios, mas também afeta os ambientes costeiros, como estuários e lagoas costeiras (BEM et al., 2013). Apesar esses ambientes costeiros serem altamente resilientes e resistentes a várias perturbações ambientais, incluindo a eutrofização.

No entanto, é fundamental proteger e preservar os ecossistemas costeiros, para garantir a sua importância ecológica e socioeconômica, a sustentabilidade dos recursos naturais e a manutenção da biodiversidade. A preservação desses ambientes é essencial para a saúde dos ecossistemas marinhos e a qualidade de vida das comunidades costeiras que dependem desses recursos naturais.

Nessa perspectiva, é imprescindível criar medidas que estabeleçam formas de manejo sustentável no tratamento dos efluentes domésticos (GUIMARÃES, CARVALHO e SILVA, 2007), uma vez que eles são os principais responsáveis pela poluição dos recursos hídricos. Portanto, a instalação de sistemas de saneamento básico é essencial, pois esses sistemas previnem ou até mesmo inibem o processo de eutrofização.

O tratamento adequado do esgoto diminui a quantidade de nitrogênio e fósforo, evitando que sejam lançados diretamente nos corpos de água. Isso reduz a carga de nutrientes que alimenta o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, mitigando os efeitos da eutrofização, mantendo as condições ecológicas dos corpos hídricos, protegendo a qualidade da água, a saúde dos ecossistemas aquáticos e a biodiversidade (SILVA, 2007).

Neste sentido, a utilização do saneamento básico é considerada um instrumento de promoção da saúde humana e ambiental, superando os entraves tecnológicos e

políticos, uma vez que, apresenta dificuldade na extensão dos benefícios dos que residem em áreas rurais e localidades de pequeno porte.

Segundo Paes *et al.*, (2014), o saneamento básico é indispensável tanto para o meio ambiente como também, para população, visto que, esse apresenta ações para oferecer serviços, (abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem de águas e manejo de resíduos sólidos), que garanta condições de segurança e bem-estar para a população.

Assim, o saneamento básico diminui a poluição dos recursos hídricos, como também é fundamental para a qualidade de vida, saúde, educação, e ainda no trabalho e no ambiente. Segundo Moreira, *et. al.*, (2011), a ausência do saneamento básico, é o principal responsável pela poluição dos ecossistemas aquáticos, e ainda favorece a veiculação de diversas doenças, afeta diretamente na saúde pública e provoca vários impactos negativos na esfera ambiental, social e econômica.

De fato, o saneamento básico desempenha um papel crucial no enfrentamento da eutrofização e na promoção da melhoria da qualidade da água. A gestão adequada dos recursos hídricos e dos sistemas de esgotamento sanitário é essencial para mitigar a poluição e reduzir os impactos da eutrofização nos corpos de água.

A falta de serviços de abastecimento de água e saneamento básico prejudica diversos setores, principalmente a saúde da população, comprometendo a sua qualidade de vida (SILVA, 2007). Portanto, é necessário investir em infraestrutura e políticas públicas que garantam o acesso universal a água potável e a sistemas eficientes de tratamento de esgoto.

Para combater a eutrofização e aprimorar a qualidade da água, são necessárias ações de controle e prevenção, conforme destacado por Casterot (2010). Isso engloba a adoção de práticas sustentáveis de manejo da terra e da água, como o uso adequado de fertilizantes agrícolas e a implementação de técnicas de conservação do solo. Além disso, é importante promover a conscientização pública acerca dos impactos da eutrofização e da importância da conservação dos recursos hídricos, incentivando a participação ativa da comunidade na proteção dos corpos de água.

A implementação coordenada de iniciativas relacionadas ao saneamento básico, à gestão dos recursos hídricos e à conscientização da população é imperativa para abordar de maneira eficaz os desafios associados à eutrofização. Essa abordagem integrada visa assegurar a disponibilidade de água de qualidade para as atuais e futuras gerações.

4.3 Garantindo a Sustentabilidade: Desafios e Estratégias na Gestão de Recursos Hídricos

A gestão de recursos hídricos desempenha um papel essencial no desenvolvimento socioeconômico e na implementação de políticas destinadas a assegurar o uso sustentável dos recursos hídricos, tanto para as populações urbanas quanto rurais, preservando a disponibilidade desse recurso vital para as gerações presentes e futuras.

Para que os recursos hídricos desempenhem suas funções adequadamente, é necessário o planejamento das bacias hidrográficas. Essas bacias têm como finalidade ordenar os usos da água, garantindo o atendimento aos múltiplos usuários e contribuir tanto para fins econômicos e sociais quanto para a conservação (LEAL, 1998).

No entanto, esse processo enfrenta uma série de desafios ligados à escassez de água, pelo crescimento populacional, aumento do consumo, mudanças climáticas, poluição e urbanização acelerada, além do desenvolvimento industrial.

O crescimento das áreas urbanas tem contribuído para uma poluição acelerada, uma vez que as construções civis não respeitam os cursos naturais das águas em centros urbanos, dificultando o escoamento e a infiltração desse recurso. Além disso, a falta de destino adequado para os resíduos sólidos faz com que eles sejam engolidos pelos bueiros, tornando-se um problema comum nas cidades brasileiras e podendo alterar o ciclo hidrológico (CARVALHO; SILVA, 2007).

Nessa perspectiva, as ações antrópicas têm afetado diretamente o ciclo hidrológico, modificando o fluxo de água em rios e bacias, contribuindo para aumentar a erosão, assoreamento de barragens e alteração do curso da água. Essas ações podem ter consequências desastrosas, como inundações, enchentes, secas e desflorestamento. Assim, essas problemáticas têm causado diversos impactos tanto para o meio ambiente quanto para as populações, podendo desencadear outros processos que afetam os elementos que compõem esse sistema.

Para enfrentar essas problemáticas, diversas estratégias têm sido adotadas, promovendo a conscientização sobre o valor desse recurso e adotando práticas para o uso eficiente da água. Além disso, é necessário adotar medidas que visem à conservação dos recursos hídricos e à gestão adequada, levando em consideração os diversos setores envolvidos. Somente por meio dessas ações será possível garantir a disponibilidade desse recurso vital para as gerações presentes e futuras.

Neste sentido, é fundamental o envolvimento de todos os usuários, tanto por partes dos interessados na tomada de decisões, no compartilhamento equitativo dos recursos e na negociação das necessidades de todos os setores da gestão integrada da água, considerando os aspectos ambientais, sociais e econômicos, garantindo um uso sustentável da água em diferentes setores (SILVA, 2007).

Ausência da gestão integrada da água provoca reações nos recursos naturais, principalmente nos ambientes aquáticos, essas modificações se manifestam através da crise atual, observável pela gestão dos Recursos Hídricos que busca um novo modelo de desenvolvimento, diretrizes tecnológicas, tendo a finalidade de minimizar os impactos negativos ao meio ambiente.

No entanto, a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos ocorre de forma híbrida, combinando aspectos descentralizados e centralizados. Isso significa que diferentes atores e esferas de governo estão envolvidos na gestão dos recursos hídricos, cada um com papéis e responsabilidades específicas.

Na perspectiva da descentralização, a Lei das Águas estabelece o papel primordial das bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão. O território brasileiro é dividido em diversas bacias hidrográficas, e cada uma delas é dotada de um Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), incumbido de promover a participação da sociedade civil e dos usuários de água nas deliberações relativas à gestão dos recursos hídricos naquela região específica.

Nesse contexto, a gestão descentralizada, no âmbito da bacia hidrográfica, incorpora todas as políticas setoriais relacionadas à gestão da água, envolvendo os usuários e a sociedade civil no processo decisório. Nessa abordagem, a água é concebida como um bem de valor econômico, não mais como uma dádiva inesgotável da natureza (MOREIRA, 2001).

Além da descentralização por bacia hidrográfica, a gestão dos recursos hídricos também apresenta aspectos centralizados. Em nível nacional, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) assume a responsabilidade de coordenar e implementar a política em todo o país. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), sob a presidência do Ministério do Meio Ambiente, representa a instância máxima de deliberação e tomada de decisões em assuntos relacionados aos recursos hídricos, (SILVA, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil é implementada de maneira fragmentada, descentralizada e centralizada, envolvendo a participação ativa de diversos

atores e níveis de governo, (ANDRADE; NUNES, 2014). Essa abordagem busca promover a gestão participativa, integrada e sustentável dos recursos hídricos, garantindo a disponibilidade de água para os presentes e futuras gerações e a preservação dos ecossistemas aquáticos. Ambos os modelos apresentam seus métodos e características diferenciadas entre si, a escolha do método e local a ser utilizado vai depender de cada caso.

Nesta perspectiva, a forma fragmentada dá-se em função de cada setor, realizando seu próprio planejamento e medidas, como, por exemplo, a agricultura irrigada, saneamento e preservação ambiental. Enquanto na forma centralizada, os governos estaduais e federais definem a política sem participação dos governos municipais, dos usuários da água e da sociedade civil (ANDRADE; NUNES, 2014).

Dessa maneira, as políticas nacionais devem ser ambientalmente sustentáveis, fundamentadas em legislação que, a partir de uma visão mais holística, concentre-se na gestão integrada dos recursos hídricos, estabelecendo um processo que promova a equidade e a participação multissetorial.

Segundo Leal (1998), o termo -ambientalmente sustentável pode ser entendido como um sistema totalmente em equilíbrio, ou seja, autossuficiente, sem rejeitos. Segundo Sachs (1992), para um ambiente sustentável, deve ser observada diversa características, como econômica, ecológica, cultural, dentre outras. Entretanto, é difícil um sistema totalmente sustentável; o que realmente se deseja é o maior grau possível de sustentabilidade, respeitando os limites de autorregeneração do meio ambiente.

Nesse contexto, a Lei Federal n. 9.433/97 (Lei de Águas), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabeleceu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), tendo a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos como um dos seus fundamentos (BRASIL, 1997).

A Política de Recursos Hídricos considera a gestão descentralizada dos recursos hídricos como uma abordagem sustentável. Essa perspectiva envolve um conjunto de diretrizes e metas que estabelecem e incorporam conceitos fundamentais para uma visão sustentável do uso da água, visando aprimorar a disponibilidade hídrica, tanto superficial quanto subterrânea, em termos de quantidade e qualidade, além de minimizar os conflitos reais e potenciais de uso da água (SILVA, 2007).

Segundo Dias et al. (2016), a gestão de recursos hídricos no Brasil assegura disponibilidade de água adequada para as próximas gerações, e ainda previne os eventos

hidrológicos críticos, por um planejamento estratégico, com uma visão sustentável do uso dos recursos hídricos.

Para minimizar os impactos negativos é essencial que o sistema de gestão de recursos hídricos crie um conjunto de regras para a alocação da água, monitorar as atividades dos usuários na bacia hidrográfica e tomar medidas que diminuam a disponibilidade hídrica *per capita* (RIBEIRO et al., 2014).

O tratamento adequado de efluentes domésticos em águas superficiais é uma das medidas para diminuir os impactos nas bacias hidrográficas, uma vez que, sem tratamento, estes podem provocar alterações do regime hídrico, tendo em vista que o efluente lançado em condições indesejáveis modifica a qualidade da água (Brasil, 2007).

Para minimizar esses impactos foi implantado, em 1970, o Sistema Nacional de Saneamento, integrado ao Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que busca a qualidade da prestação de serviço de esgoto e manejo de resíduos sólidos urbanos. Além da implementação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), foi instituído o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), com o propósito de assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo e demais órgãos ambientais diretrizes e políticas governamentais para o meio ambiente. O CONAMA também tem a competência de deliberar sobre normas e padrões para o meio ambiente

Segundo Hohmann, (2012), a criação do PLANASA teve a finalidade de financiar e investir em saneamento básico, contribuindo para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água. Assim, o PLANASA surge como um agente modernizador do setor de saneamento básico, desempenhando o papel de regulador e estabelecendo as outorgas necessárias para o lançamento dos efluentes nos corpos hídricos.

A implementação do Plano Nacional de Saneamento Básico proporcionou diversos benefícios à população, incluindo o aumento no abastecimento de água e a expansão do percentual de domicílios com rede de coleta de esgotos (TUROLLA, 2002). Apesar da melhoria no saneamento básico, esse plano entrou em crise, levando à sua extinção.

Com a extinção do PLANASA, foi promulgada a Lei Federal n.º 9.433/1997, conhecida como a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Essa legislação representou um marco para o setor de saneamento básico, uma vez que aborda as particularidades do uso da água, sua proteção, a definição de prioridades de uso e os

múltiplos usos desse recurso. Além disso, a PNRH estabelece as outorgas necessárias para o lançamento de efluentes nos corpos hídricos (ARAÚJO; BERTUSSI, 2018).

A Lei Federal n.º 9.433/1997, também conhecida como "Lei das Águas", não apenas aprimora a gestão dos recursos hídricos, mas também assegura às atuais e futuras gerações a disponibilidade de água potável, o uso sustentável dos recursos hídricos e a preservação dos eventos hidrológicos críticos (BRASIL, 1997).

Posteriormente, foi promulgada a Lei Nacional do Saneamento Básico (Lei n.º 11.445), a qual tem como propósito estabelecer uma política federal para o saneamento básico. Essa legislação orienta as ações do governo federal, contribuindo para a expansão dos serviços de saneamento básico, bem como para a formulação de programas, planos, ações e estratégias de investimento no setor.

Nesse contexto, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SINISA) é reconhecido como uma ferramenta de extrema importância para a população e o meio ambiente. Esse sistema busca aprimorar a prestação de serviços públicos por meio da coleta de dados sobre saneamento básico, além de facilitar o acesso do público a informações relevantes (BRASIL, 2007).

O tratamento adequado de efluentes domésticos é uma das medidas para diminuir os impactos nas bacias hidrográficas, uma vez que, sem tratamento, estes podem provocar alterações no regime hídrico, tendo em vista que o efluente lançado em condições indesejáveis modifica a qualidade da água (BRASIL, 2007).

Nesta perspectiva, a gestão de recursos hídricos desempenha um papel importante na preservação dos ecossistemas aquáticos e no uso sustentável da água. Assim, é preciso que o desenvolvimento dos centros urbanos seja planejado de forma sustentável e consciente, pensando nas gerações atuais e futuras. Por meio de uma abordagem integrada e estratégias eficazes, aliadas à colaboração entre diferentes atores, pode-se garantir um futuro em que a água seja um recurso acessível e possa ser usada para diversos fins.

Neste contexto, é fundamental promover a conscientização da população sobre a importância da preservação dos recursos hídricos e do uso responsável da água, além de investir em tecnologias e práticas que reduzam o desperdício e a poluição desse recurso vital. Neste sentido, a gestão dos recursos hídricos contribui para a qualidade de vida das pessoas e dos ecossistemas como também para o desenvolvimento sustentável das cidades e do país como um todo, ou seja, é um compromisso que envolve governos,

empresas, sociedade civil e cada indivíduo, visando garantir a disponibilidade de água para os presentes e futuras gerações.

4.4 O Tratamento Convencional de Esgoto: Processos e Desafios

No Brasil a falta de saneamento básico adequado é um dos problemas ambientais enfrentadas pelas grandes cidades brasileiras, visto que 49% do esgoto produzido nestas cidades são coletados por meio de uma rede, enquanto apenas 10% desse esgoto total passam por um tratamento adequado antes de ser descartado no meio ambiente (TRATA BRASIL, 2017).

Segundo Martins et al., (2012) ,a falta de acesso ao serviço de coleta e tratamento de esgoto ou o serviço ineficiente, vem provocando varias consequência para o meio-ambiente como também para população, uma vez que, o lançamento do efluente doméstico diretamente em corpos d'água e no solo pode contaminar rios, lagos e aquíferos, gerando poluição hídrica e comprometendo á saúde ambiental e humana.

Essa situação representa um grave problema de saúde pública e de degradação ambiental, visto que esgoto não tratado contamina as águas e pode disseminar doenças de veiculação hídrica, colocando em perigo a saúde da população (CELPE/CHESF/COMPESA/SAAE, 1991). Além disso, a poluição dos corpos de água também pode ter impactos negativos na fauna e flora locais.

Essa poluição pode causar uma série de problemas ambientais, como a eutrofização, que é o enriquecimento excessivo de nutrientes nas águas, levando ao crescimento descontrolado de algas e redução do oxigênio disponível para outras formas de vida aquática, resultando em morte de peixes e desequilíbrio no ecossistema como um todo (CHEIS, 2014).

Além disso, a contaminação dos corpos hídricos pelo esgoto pode afetar negativamente as comunidades que utilizam a água para abastecimento público. Dessa forma, o lançamento de esgoto sem tratamento adequado além de poluir os corpos hídricos, restringe seu uso para outros fins e exigindo investimentos adicionais em tratamento de água (COPASA, 2021).

Buscando solução para tais problemas, foi desenvolvido no Brasil sistemas de saneamento básico para tratar os efluentes domésticos, controlando inúmeros problemas gerados pela falta de esgotamento sanitário, consequentemente melhorando as condições de vida da população (SERAFIM e DIAS, 2013).

O tratamento convencional de esgoto é amplamente utilizado em muitas regiões do mundo e também no Brasil. Esse tipo de tratamento envolve o encaminhamento dos esgotos domésticos e industriais para estações de tratamento de esgoto (ETEs). Nessas estações, os esgotos passam por diferentes etapas de tratamento com o objetivo de remover poluentes e substâncias nocivas antes de serem devolvidos ao meio ambiente (FERREIRA, GARCIA, 2017).

Neste contexto, os sistemas de coleta e tratamento de esgotos eficientes são fundamentais para garantir a preservação do meio ambiente, a saúde pública e o desenvolvimento sustentável. Segundo Leoneti (2011), esse tratamento desempenha um papel crucial na remoção de poluentes presentes no esgoto doméstico e industrial, tornando-o seguro para ser devolvido ao meio ambiente ou reutilizado de forma responsável.

Neste sentido, tratamento de esgoto convencional, quando bem aplicado remove os poluentes e impurezas presentes nas águas residuárias, este segue uma série de etapas que são projetadas para remover os contaminantes e impurezas do esgoto doméstico e industrial antes de devolvê-las ao meio ambiente de forma segura (CARVALHO, 2010).

O tratamento de esgoto convencional geralmente envolve várias etapas para diminuir os poluentes e impurezas presentes nas águas residuárias antes de serem devolvidas ao meio ambiente (COSTA; GUILHOTO, 2014).

As etapas fundamentais desse processo compreendem as fases preliminar, primária, secundária e terciária, podendo incluir outras etapas adicionais conforme as características do esgoto a ser tratado e os padrões de qualidade estabelecidos para o lançamento do efluente tratado no meio ambiente (SPERLING, 2014).

Além disso, o tratamento de esgoto é uma medida essencial para proteger o meio ambiente e garantir a saúde pública, reduzindo a poluição dos corpos d'água e evitando a disseminação de doenças de veiculação hídrica, (Quadro 3).

Quadro 3- Etapas do tratamento convencional de esgoto para remover os poluentes e impurezas presentes nas águas residuárias

Etapa do Tratamento	Descrição
Preliminar	- Gradeamento: Remoção de sólidos grosseiros como galhos e pedaços de lixo. - Descarnadores: Remoção de areia e outros sedimentos pesados.
Primário	- Decantação Primária: Remoção de sólidos sedimentáveis e flutuantes. - Formação e remoção do lodo primário.
Secundário	- Tratamento Biológico: Utilização de processos biológicos para remover a matéria orgânica. - Exemplo: Lodos ativados, reatores aeróbios, lagoas aeradas.
Terciário (opcional)	- Filtração: Remoção de partículas finas e microorganismos remanescentes. - Desinfecção: Eliminação de patógenos e microorganismos nocivos. - Exemplos: Filtração de areia ou membranas, desinfecção com cloro, ozônio ou radiação ultravioleta.

Fonte: Von Sperling, 2014.

Segundo Jordão e Pessoa (2011), as estações de tratamento de esgotos comuns utilizam processos como a gradeagem, sedimentação e aeração, onde bactérias aeróbicas ajudam a decompor a matéria orgânica presente nos esgotos. Por fim, ocorre a decantação secundária, para separar as partículas restantes antes de devolver a água tratada ao ambiente, geralmente em rios ou oceanos.

Segundo Leoneti,(2011),o entanto, essas etapas quando realizadas de forma adequada, resultam na diminuição significativa de contaminantes, tornando o efluente tratado muito mais seguro para o meio ambiente e para os seres humanos, contribuindo para a preservação dos ecossistemas aquáticos e para a promoção de um ambiente mais saudável.

Apesar de ser um método amplamente adotado, o tratamento convencional de esgoto apresenta algumas limitações, pois nem sempre após essas etapas, os processos convencionais de tratamento, são eficazes na remoção de entre 90% e 99% de alguns microrganismos, muitas vezes sua eficiência não é adequada para atender as condições permitidas pelo CONAMA nº 357 de 2005.

Além disso, o tratamento convencional de esgoto pode gerar resíduos sólidos que precisam ser descartados adequadamente, podendo causar problemas ambientais adicionais se não forem tratados corretamente. Para uma abordagem mais ecológica e eficiente, é importante considerar opções alternativas de tratamento de esgoto.

Os tratamentos ecológicos podem ser empregados no tratamento de esgoto para reduzir o impacto ambiental e melhorar a qualidade da água tratada. Cada sistema possui vantagens específicas, e a combinação adequada de tecnologias pode ser usada para atender às necessidades específicas de diferentes comunidades e regiões

(LEONETI, 2011).No quadro 4,segue algumas opções de sistema ecológicas de tratamento de esgoto.

Quadro 4– Alternativas ecológicas de tratamento de esgoto para remover os poluentes e impurezas presentes nas águas residuárias

Sistema de Tratamento	Descrição	Eficiência na Remoção de Poluentes
Wetlands (Plantas Aquáticas)	Utiliza plantas aquáticas como taboas e aguapés para remover poluentes. Raízes promovem a decomposição de matéria orgânica e bactérias benéficas.	Eficaz na remoção de nutrientes e poluentes orgânicos.
Reatores Anaeróbios	Microrganismos degradam matéria orgânica na ausência de oxigênio.	Alta eficiência na remoção de matéria orgânica.
Biofiltros	Utiliza leitos de filtração com meio poroso para decomposição biológica do esgoto.	Eficaz na remoção de matéria orgânica e nutrientes.
Tanques de Evapotranspiração	Utiliza câmaras de fermentação (biodigestão), leitos filtrantes, fitorremediação e evapotranspiração	Eficaz na remoção de matéria orgânica e aproveitamento das fossas para produção de alimentos
TEWetland (Tanque de Evapotranspiração + Wetlands)	Utiliza câmaras de fermentação (biodigestão), leitos filtrantes (biorremediação), fitorremediação, evapotranspiração e geração de água para reuso	Eficaz na remoção de matéria orgânica, aproveitamento das fossas para produção de alimentos ou jardins e gera água de qualidade para reuso(Silva, 2023) (https://photos.app.goo.gl/ZkakGVFPcHbbW15w9)
Biorremediação	Utiliza microrganismos para degradar poluentes no esgoto.	Pode aumentar a eficiência de outros tratamentos.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING, (1996);TEIXEIRA et al., (2009), PAES et al. (2014), SILVA (2024)

Esses tratamentos vêm apresentando várias vantagens sobre os sistemas convencionais, como menor consumo de energia, menor geração de lodo, redução de odores desagradáveis e, em muitos casos, permitem a reutilização da água tratada para fins não potáveis, como irrigação (VON SPERLING, 1996).

Ainda sobre esse tratamento, é importante destacar que, as técnicas ecológicas de tratamento de esgoto podem proporcionar uma série de benefícios, incluindo a redução do impacto ambiental, a preservação dos recursos hídricos e a melhoria da qualidade da água tratada (LEONETI, 2011). Neste sentido, a pesquisa e o desenvolvimento contínuos dessas tecnologias podem torná-las mais acessíveis e eficientes, contribuindo para um tratamento de esgoto mais sustentável e eficaz no Brasil, visto que, o tratamento de esgoto com uma abordagem mais ecológica é fundamental para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e a proteção do meio ambiente, além de serem sistemas menos onerosos.

4.5 O Rio Paraíba no Semiárido Paraibano

O Rio Paraíba tem sua nascente localizada na Serra de Jabitacá, situada no município de Monteiro, no cariri paraibano. Esta bacia hidrográfica é reconhecida como a mais extensa dentro do domínio estadual, superada apenas pelo Rio Piranhas, que abrange aproximadamente 38% do território.

A Bacia do Paraíba destaca-se como a mais significativa do ponto de vista socioeconômico. Sua extensão abrange uma área total de 19.456,73 km², com um perímetro de 1.077,98 km. Caracteriza-se pela maior concentração demográfica e engloba uma sub-bacia, o Rio Taperoá, além de três distintas regiões, nomeadamente Alto, Médio e Baixo Paraíba. Estendendo-se ao longo de 360 km, alcança sua foz no Oceano Atlântico, situada entre os municípios de Cabedelo – PB e Lucena (Oliveira, 2018).

O Rio Paraíba, em época de estiagem, parte de seu leito desaparece, principalmente a parte do Alto Paraíba, que atravessa o semiárido, estando classificado como um rio parcialmente intermitente, embora, a partir de seu médio curso, seja sempre perene. Suas precipitações pluviométricas apresentam médias anuais de 700 mm (XAVIER et al., 2012)

Segundo Montenegro e Montenegro (2012), no semiárido brasileiro, os valores médios anuais de precipitação são de 750 mm, embora em outras áreas a precipitação média não ultrapasse 400 mm anuais, enquanto a evapotranspiração atinge a média de 2.500 mm por ano, o que são fatores sucessivos de secas, devido ao balanço negativo.

Tal fato induz uma série de problemas como a diminuição do volume dos aquíferos, chuvas de distribuição irregular, fenômenos de desertificação e ainda pode provocar o assoreamento dos rios. Segundo, Cavalcante e Cunha (2012, p.42):

-As águas dos rios vêm sofrendo com a baixa qualidade, sendo um dos principais pontos a serem resolvidos, pois na maioria das vezes, os rios estão poluídos devido ao crescimento das cidades, que, atreladas ao desenvolvimento industrial e à falta de uma política de beneficiamento de resíduos e dejetos, acabam sendo lançados diretamente nos rios, sem tratamento prévio, causando danos incalculáveis ao meio ambiente.!

Outro fator que contribui para a baixa qualidade das águas nos rios são os constantes alagamentos, que inclui a geomorfologia da região, a distribuição temporal da precipitação pluviométrica e as ações humanas que causam impactos significativos no ambiente. Além disso, o desmatamento das áreas de preservação permanente, a

canalização de córregos e rios, e a falta de manejo adequado dos resíduos sólidos também podem agravar os problemas relacionados aos alagamentos e à qualidade das águas (MARINHO, 2011).

Nesse contexto, o Rio Paraíba tem sido impactado significativamente pela recepção de uma considerável carga de matéria orgânica proveniente da cidade de Campina Grande/PB. Este rio vem enfrentando uma série de efeitos prejudiciais tanto para o ambiente aquático quanto para a saúde humana. Essas mudanças têm contribuído para alterações ambientais e desafios relacionados à qualidade da água e à sustentabilidade do ecossistema aquático do Rio Paraíba.

Segundo, Brito (2008) destaca que uma parcela significativa das cargas poluidoras no médio rio Paraíba está concentrada devido ao recebimento de esgotos mal tratados e efluentes provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Catingueira, localizada no município de Catingueira, em Campina Grande. Esses efluentes se mesclam com as águas do rio Bodocongó, cuja origem está no sangradouro do açude homônimo, dando origem ao riacho de Bodocongó.

Essa junção de esgotos e efluentes com o riacho de Bodocongó contribui para a carga poluente que o médio rio Paraíba enfrenta. A presença de substâncias contaminantes e resíduos não tratados provenientes da ETE da Catingueira pode intensificar os problemas ambientais ao longo do curso d'água, afetando a qualidade da água, a vida aquática e, conseqüentemente, a saúde dos ecossistemas e a disponibilidade de recursos hídricos para a comunidade local.

A presença significativa de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio, transportados pelo rio, revela a falta de saneamento em diversos ambientes por onde ele passa, agravando os problemas de qualidade da água ao longo desse curso d'água.

A presença excessiva de nutrientes pode contribuir para a indução da eutrofização, causando crescimento descontrolado de algas e outros organismos aquáticos, o que por sua vez pode prejudicar a vida aquática e impactar negativamente o ecossistema. (CEBALLOS et al., 2001). Porém, a problemática se intensifica no período chuvoso e de estiagem, ocorrem variações na qualidade da água nos reservatórios e nos rios.

Segundo Silva et al., (2014), no período de seca, podem haver o aumento da temperatura da água, reduzindo a capacidade de retenção de oxigênio e afetando a biodiversidade aquática. Além disso, no açude Taperoá a diminuição do volume de água nesse reservatório pode levar a uma maior concentração de poluentes, tornando a água

mais suscetível à contaminação e prejudicando ainda mais a qualidade do recurso (BARBOSA, 2002).

No período chuvoso, podem resultar em enxurradas e erosão do solo, carreando sedimentos e poluentes para os rios e seus reservatórios. Esses sedimentos podem causar turbidez na água, reduzir a penetração de luz solar e afetar a vida aquática. Além disso, o aumento das chuvas pode diluir a concentração de poluentes presentes nos corpos d'água, mas também pode levar a surtos de contaminação devido ao carregamento de resíduos agrícolas e urbanos para os rios período chuvosos ocorrem alterações nos parâmetros físico-químicos e biológicos da água (NUNES et al., 2000).

Segundo Araújo et al. (2016), altas cargas de matéria orgânica que contaminam o reservatório do Rio Paraíba são resultado do lançamento de uma quantidade significativa de matéria orgânica nesses ambientes, geralmente proveniente de efluentes domésticos não tratados. Essa situação contribui para o aumento do nível de eutrofização, representando uma ameaça à disponibilidade de água potável para uso humano e à biodiversidade presente na região.

No Açude Argemiro Figueiredo, no ano em que o reservatório atingiu sua capacidade de suporte, apresentou condições eutróficas, ou seja, altas cargas de matéria orgânica, levando à perda de qualidade na água. Isso ocorreu devido ao recebimento de efluentes domésticos da cidade de Campina Grande sem nenhum tratamento prévio, aumentando o estado trófico, acumulando nutrientes e favorecendo o crescimento de microalgas, o que tornou a água com aspecto esverdeado e aumentou a produção de matéria orgânica para decomposição (MAGALHÃES. et al., 2002)

Esse aumento da produção de matéria orgânica em bacias hidrográficas tende a promover intensos problemas ambientais, como eutrofização e alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Essa grande quantidade de matéria orgânica está associada à falta de tratamento adequado de esgotos e contribui para a degradação da qualidade da água (SILVA JR., 2013).

Neste sentido, os efluentes domésticos vindo das grandes cidades emergem como os principais agentes causadores da poluição nos recursos hídricos. Estes, ao serem descarregados, provocam modificações na qualidade dos parâmetros das águas, nas margens e nos leitos dos rios. Tal ação resulta na deterioração das funções ecológicas desses corpos d'água, assim como na perturbação da interação entre as águas dos lençóis freáticos que percorrem este ecossistema (GARCIAS e AFONSO, 2013)

Neste sentido, faz-se necessário controlar e monitorar a qualidade da água para conhecer a origem dos prováveis impactos ambientais, ou seja, os motivos pelos quais ocorrem as alterações nos parâmetros analisados, sejam eles de ordem física, química ou biológica. Além disso, o monitoramento ambiental é uma ferramenta indispensável para obter informações sobre os recursos hídricos, contribuindo para o diagnóstico da qualidade da água, bem como para tomar medidas de prevenção e despoluição dos recursos hídricos (ROSSISTER et al., 2015).

É necessário que a população utilize as águas dos rios de forma sustentável, inteligente e responsável, com uso consciente, uma vez que é obrigação de toda a população cuidar dos recursos naturais de maneira que seja possível conservar os rios saudáveis, para que suas águas possam ser utilizadas para os múltiplos usos e os ecossistemas possam fornecer seus serviços ambientais, incluindo a provisão de alimentos.

4.6 O Riacho Bodocongó

A Bacia do Riacho Bodocongó possui uma extensão de aproximadamente 75,5 Km, nasce no sítio Lagoa de Dentro dos Galdino, situado no município de Montadas, estado da Paraíba, com altitude de 691 m. Seu alto, médio e baixo curso são escavados sobre o compartimento do relevo do Planalto da Borborema (SILVA e FREITAS, 2012).

Ao longo de seu percurso, o Riacho Bodocongó forma um açude na comunidade de Maris Preto, prosseguindo para o sítio Azevén, no município de Puxinanã, onde recebe afluentes dos riachos Montadas e da serra de Portela. Em seguida, chega ao município de Puxinanã, onde abastece o açude da cidade conhecido como Milhã, que possui um volume de acumulação de 580.000 m³. Quando esse açude sangra, segue em direção ao antigo sítio Ramada, onde foi construída a represa do Açude de Bodocongó.

O Açude de Bodocongó, localizado no Bairro de Bodocongó, na cidade de Campina Grande, foi construído entre os anos de 1915 e 1916 com a finalidade de abastecer a cidade. No entanto, a alta concentração de salinidade da água torna-a imprópria para o consumo da população, mas viabilizou seu uso em outras atividades (SILVA et al., 2014).

Na década de 1930, várias indústrias foram instaladas ao redor do Açude de Bodocongó, o que influenciou no aumento acelerado da antropização do manancial, resultando na urbanização do bairro e no surgimento de um complexo industrial em seu

entorno (CARVALHO, MORAES, LIMA e CAVALCANTI, 2009). Embora a maioria das indústrias tenha encerrado suas atividades por volta da metade do século XX, a Indústria de Celulose e Papel IPELSA ainda opera nas margens do açude.

O funcionamento das indústrias e a urbanização do bairro foram os principais responsáveis pela diminuição da qualidade da água do Açude de Bodocongó, tornando-a imprópria para os múltiplos usos (ANDRADE, ANDRADE, FERNANDES, 2014).

As ações antrópicas ao longo dos anos têm sido as principais responsáveis pela degradação do açude, uma vez que seus recursos foram utilizados sem responsabilidade ou cuidado. O deságue de efluentes sem tratamento prévio, provenientes de universidades públicas, escola técnica, hospitais, condomínios fechados, comércios e rios, têm contribuído para diversos danos ambientais, sociais e econômicos (DUTRA; MARTINS, 2016).

Essa ausência de tratamento adequado dos afluentes domésticos tem provocado várias consequências para a saúde humana, bem como sérios problemas ambientais, pois o aumento de nutrientes na água favorece o surgimento de macrófitas, que reduzem a aeração da água e impedem sua autodepuração (AQUINO, ALMEIDA, 2016).

Durante o período chuvoso, o Açude de Bodocongó recebe um grande volume pluviométrico pelos afluentes, principalmente pelo Riacho Bodocongó, que atravessa várias cidades, recebendo grandes cargas de rejeitos líquidos, sólidos e produtos químicos industriais (MEDEIROS, 2012). Quando o açude transborda, o volume de água da Bacia do Riacho Bodocongó aumenta, continuando seu percurso sinuoso, passando por municípios como Caturité, Barra de Santana, Natuba, Aroeiras, Ingá, entre outros (SILVA e FREITAS, 2012).

Ao longo do curso do Riacho Bodocongó, desde a nascente até a confluência com o médio curso do Rio Paraíba, essa área recebe uma grande carga de nutrientes, o que causa impactos nas áreas rurais, urbanas e pode representar impactos locais (SENHA, 2016).

Além desses impactos, o riacho transporta efluentes domésticos das cidades em que passa ricos em nutrientes, que são lançados em ambientes aquáticos sem tratamento prévio, resultando em diversos impactos negativos, tanto locais como regionais, contribuindo para a poluição e contaminação dos recursos hídricos (ALVES e BARBOSA, 2014).

4.7 Fossas Ecológicas

Nos últimos anos nota-se um crescimento exponencial em relação a programas de despoluição ambiental, esses programas têm a finalidade de despoluir ambientes poluídos, utilizando a aplicação de técnicas eficientes e viáveis, para a restauração dos cursos hídricos.

Em área rural, as residências têm em geral fossas vazadas para as águas negras e em geral lançam as águas cinzas nas proximidades das suas casas. Estes efluentes quando são lançados sem tratamento adequado provoca vários impactos severos, como alteração nos parâmetros físico-químico e biológico dos solos e das águas subterrâneas e ainda alteram o sistema ecológico (SPERLING, 1996).

De acordo com Silva e Nour, (2005), os efluentes domésticos gerados pela população rural individualmente não apresentam níveis elevados de compostos poluidores, porém quando esses efluentes são gerados em grande escala, sendo lançados de forma dispersa e sem tratamento prévio apresentam um montante considerável de poluição. O que pode ser observado nas urbanizações com maior população.

Dessa forma o tratamento dos efluentes, seja urbano ou rural, é imprescindível, uma vez que, não sendo feito o tratamento correto desses traz vários prejuízos para a população, sendo o principal deles nas questões de saúde (COSTA et al., 2014).

Para melhorar a qualidade de vida da população é necessário criar programas de despoluição dos recursos hídricos, visto que, se faz utilizando tecnologia sustentável e de baixo custo, essas favorecem a descontaminação dos corpos hídricos, obtendo água de boa qualidade.

Neste sentido, é importante buscar alternativas de tratamento dos efluentes domésticos aqueles que utilizam tecnologias ecológicas, estas têm a finalidade de proporcionar diversos benefícios tanto no aspecto ambiental como social e econômico (COSTA et al., 2014).As tecnologias socioambientais desempenham um papel importante na busca por soluções sustentáveis e de baixo impacto para os desafios ambientais e sociais.

No entanto, ainda são poucos os tratamentos alternativos que utilizam tecnologia de saneamento básico, uma vez que, não contam com políticas de universalização do sistema. Nesses casos, é importante que os municípios procurem parcerias com os gestores federais, com o intuito de promover tratamento alternativo, com a finalidade de

diminuir os impactos negativos tanto na saúde da população como também na saúde do meio ambiente (BRASIL, 2004).

Nesta perspectiva, destaca-se a importância fundamental da implementação de métodos que facilitem o tratamento apropriado e a destinação correta dos efluentes domésticos, particularmente no contexto da classe rural, considerando suas peculiaridades. denominado de -Fossa Séptica, esta técnica vem alcançando importância mundial, uma vez que, esse processo tem a finalidade no tratamento dos efluentes domésticos, diminuindo a quantidade de efluentes domésticos lançados nos rios. Essa tecnologia fossas sépticas é uma opção muito usada no tratamento de esgoto em áreas rurais e em cidades onde não tem coleta de esgoto (COSTA; GUILHOTO, 2014).

Estas fossas são compostas geralmente por 2 escavações, uma impermeabilizada e a outra não, a primeira tem um sumidouro vertendo para a segunda o seu efluente. No entanto, este efluente ainda sai muito rico em nutrientes, visto não passar por um sistema terciário de tratamento com plantas, que seria o ideal para a retenção desses nutrientes.

Estes efluentes ainda poluem as águas subterrâneas com excesso de nutrientes (GALINDO, 2010). Excesso de nitratos em águas de consumo são um perigo para a saúde, visto que no processo digestivo o nitrato que não é tóxico, se transforma em nitrito que é tóxico e cancerígeno (MILESI et al., 2014). Dessa forma, outras formas de tratamento de esgoto individualmente devem ser utilizadas, entre eles pode-se citar as fossas ecológicas.

A fossa ecológica é projetada para a proteção dos corpos de água, evitando a contaminação do solo e das águas subterrâneas por esgoto não tratados, maximizando a eficiência na decomposição e minimizando o impacto ambiental. Isso é especialmente importante em áreas onde a água é utilizada para consumo humano ou para atividades agrícolas (COSTA; GUILHOTO, 2014). Por utilizarem plantas neste tratamento, as fossas ecológicas conseguem retirar parte dos nutrientes do esgoto, evitando que sejam lançados nos ambientes.

Neste sentido são de suma importância as instalações do sistema público de sanitário básico ligado a um sistema de tratamento alternativo de efluentes domésticos. No quadro 3, estão descritos algumas tecnologias sociais utilizadas no tratamento de efluentes domésticos, de acordo com as normas técnicas NBR 7229/93 e NBR 13969/97.

Quatro 5- Tecnologias sociais utilizadas no tratamento de efluentes domésticos segundo as normas técnicas NBR 7229/93 e NBR 13969/97

Tecnologias Sociais	Normas Técnicas
1. Fossa Séptica	NBR 7229/93
2.Fossa Séptica Biodigestora	NBR 13969/97
3.Bacia de Evapotranspiração	NBR 13969/97
4.Wetlands Construídos	NBR 13969/97
5.Tanque de Imhoff	NBR 13969/97
6.Filtro Anaeróbio	NBR 13969/97
7.Valas de Infiltração	NBR 13969/97
8.Tanque Séptico	NBR 13969/97
9.Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente	NBR 13969/97
10.Valas de Filtração	NBR 13969/97
11.Sumidouros	NBR 13969/97
12.Lagoas de Estabilização	NBR 13969/97
13.Tanque Séptico Biodigestor	NBR 13969/97
14,Filtro Biológico	NBR 13969/97
15.Fossa Séptica Aerada	NBR 13969/97
16Fossa Séptica Anaeróbia	NBR 13969/97
17.TEWetland utiliza em simultâneo as normas acima 2,3,4,6,9 e 14.	NBR 13969/97

Fonte: NBR 7229/93 e NBR 13969/97.

Essas tecnologias possuem suas características e vantagens específicas, permitindo a escolha da melhor opção de acordo com as necessidades e condições locais. Neste sentido, as tecnologias são fundamentais para promover o tratamento adequado dos efluentes e contribuir para a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida da população (MOREIRA, 2012).

Para fazer a instalação de uma dessas tecnologias sociais, é necessário analisar o tipo de efluente doméstico que vai ser tratado, como também conhecer os tipos de tecnologias utilizadas para o tratamento do esgotamento doméstico. Diante desse diagnóstico se aplica o devido tratamento, atendendo às carências das populações rurais em relação ao esgotamento sanitário (COSTA; GUILHOTO, 2014). É importante também levar em consideração o tipo de solo onde o efluente será lançado e a distância para o lençol freático.

Assim, as tecnologias sociais utilizadas para o tratamento de efluentes domésticos, principalmente em áreas rurais, podem trazer diversos benefícios, como diminuição das doenças causada por falta de saneamento básico, reduzindo a internações hospitalares, o abandono escolar e ainda reduzindo a mortalidade infantil (COSTA; GUILHOTO, 2011).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização do local da Pesquisa

5.1.1 Caracterização de Área de Estudo

O presente estudo foi realizado em uma porção específica da Bacia do Rio Paraíba, situada no município de Barra de Santana - PB. Essa bacia é a segunda maior do estado da Paraíba, abrangendo uma extensão aproximada de 380 km e percorrendo 37 municípios. A Bacia do Rio Paraíba se subdivide em três regiões distintas: Alto Paraíba, com uma extensão de 114,5 km, Médio Paraíba, com 155,5 km, e Baixa Paraíba, com 110 km. Essa estrutura geográfica reflete a complexidade e a extensão dessa importante bacia hidrográfica na região (Silva, 2012).

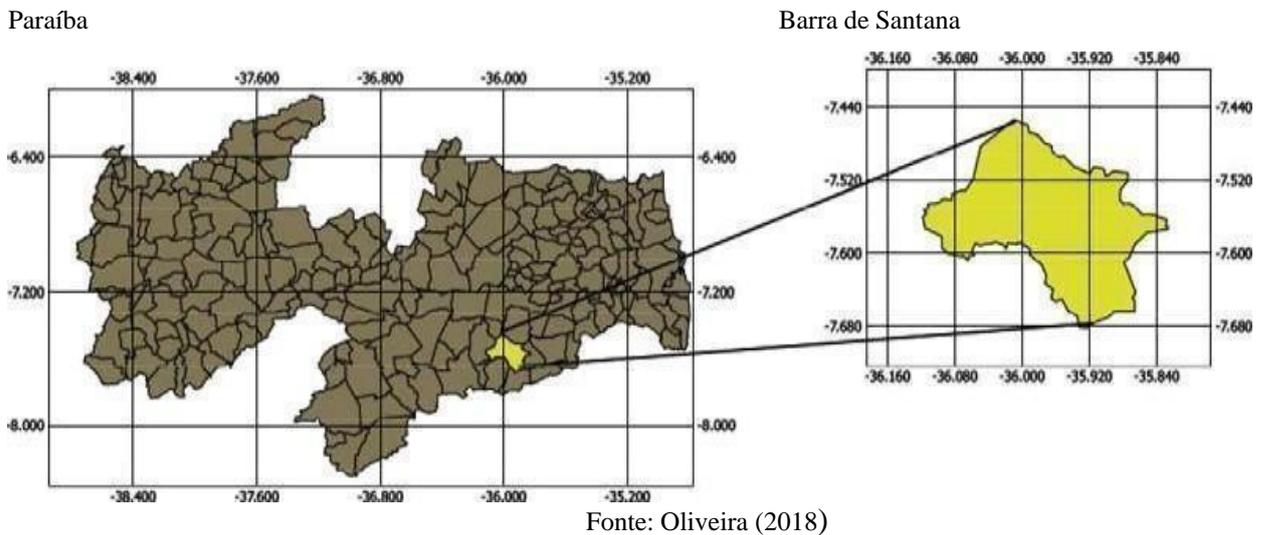
Segundo a classificação de Köppen, a Bacia do Rio Paraíba é caracterizada por um clima tropical (Aw), onde se observa uma estação seca no inverno (Alvares et al. 2013). Este padrão climático implica que a menor precipitação ocorre geralmente em novembro, enquanto a estação chuvosa se estende de fevereiro a agosto.

5.1.2 Caracterização do Município de Barra de Santana – PB

Barra de Santana está situada na microrregião do Cariri Oriental e na mesorregião da Borborema, às margens do Rio Paraíba e do Riacho de Bodocongó. Suas coordenadas geográficas são aproximadamente 07° 31' 12"S e 36° 00' 00"W, com altitude de 350 metros em relação ao nível do mar. A cidade se encontra a uma distância de 162 km da capital João Pessoa pela BR 230, sendo atravessada pela BR 104, que conecta os municípios de Caruaru-PE a Campina Grande-PB, conforme informações do IBGE de 2016. Barra de Santana faz limite com sete municípios no semiárido Paraibano.

Conforme o mapa do Estado da Paraíba, (Fig. 1), o município de Barra de Santana, se localiza na parte sul do município próximo ao Estado de Pernambuco, sendo um município de área bem extensa em relação a alguns de seus vizinhos.

Figura 1: Mapa da Paraíba, destacando-se o município de Barra de Santana.



O município de Barra de Santana abrange uma área total de 376,912 km², com uma população total de 8.338 habitantes. Seu potencial econômico está intrinsecamente ligado à produção de palma, destinada à alimentação do gado bovino. Cabe ressaltar que essa matéria-prima possui aplicabilidade diversificada, podendo ser utilizada na produção de xampus, detergentes, sabões e até mesmo em pratos típicos da região nordeste.

Neste sentido, a diversificação das atividades econômicas, juntamente com a valorização dos recursos naturais e culturais, contribuiria para o desenvolvimento sustentável de Barra de Santana.

5.1.3 A Escolha do Local da Pesquisa

A escolha do trecho do Rio Paraíba, nos sítios Feijão e Paraíbinha na cidade de Barra de Santana, PB, como ponto de análise, justifica-se porque nesses pontos os ambientes funcionam como receptores e acumuladores de nutrientes lançados ao longo da bacia hidrográfica, sendo refletidos nas características das águas e da biota presente nesses ambientes. Além disso, no sítio Feijão tem um pequeno barramento no rio,

formando um pequeno reservatório que a população utiliza como balneário, sendo importante ter conhecimento sobre a qualidade da água.

5.1.4 Amostragem

Para a realização do presente estudo foram selecionados pontos de coleta, correspondendo a cinco pontos, denominados: Barragem - Barragem Montante - Barragem Jusante, Confluência - Adutora, que corresponde à parte do médio curso do Rio Paraíba, a jusante da confluência.

Neste trecho o rio é perene, apresentando água em todo o período do ano. O capítulo 1 iniciou com três pontos; B. Montante, Barragem e Barragem Jusante, analisados no início do ano de 2022. No capítulo 2 adicionaram-se mais dois pontos, o Ponto Confluência e Adutora, analisados no início do ano de 2023.

Figura 2: Pontos de Coleta e respectivos localizações na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba -PB, em trecho de Barra de Santana e Barragem de Curimatã -PB.

		
Barragem	B. Jusante	B. Montante
Rio Paraíba Depois da zona Urbana Sítio Feijão Município: Barra de Santana	Rio Paraíba Depois da zona Urbana Sítio Feijão Município: Barra de Santana	Rio Paraíba Depois da zona Urbana Sítio Feijão Município: Barra de Santana
		
Confluência	Adutora	
Rio Paraíba Cidade Barra de Santana Município: Barra de Santana Confluência com o Riacho Bodocongó	Rio Paraíba Depois da zona Urbana Sítio Paraibinha Município: Barra de Santana A jusante da confluência com o Riacho Bodocongó	

Imagens: Autora (2022)

B. Jusante, as águas são correntes, presença de macrófitas flutuantes como *Salvinia auriculata*, *Eichornnia crassipes*, *Pistia stratiotes* e algumas monocotiledôneas emergentes. Está situado na comunidade do Sítio Feijão, da cidade de Barra de Santana-PB. Este ponto junto com o ponto Barragem são os mais usados para banho.

Barragem, as águas são utilizadas para abastecimento humano, utilizadas para pesca, lazer e irrigação, construção de Barraca nas margens do Rio. Está situado na comunidade do Sítio Feijão, da cidade de Barra de Santana-PB.

Barragem Montante, logo antes da barragem (cerca de 400 m) apresenta vegetação como algumas monocotiledôneas emergentes e flutuantes *Salvinia auriculata*, *Eichornnia crassipes*, *Pistia stratiotes*. Está situado na comunidade do Sítio Feijão, da cidade de Barra de Santana-PB. Pouco usado para banho em virtude da quantidade de plantas presentes.

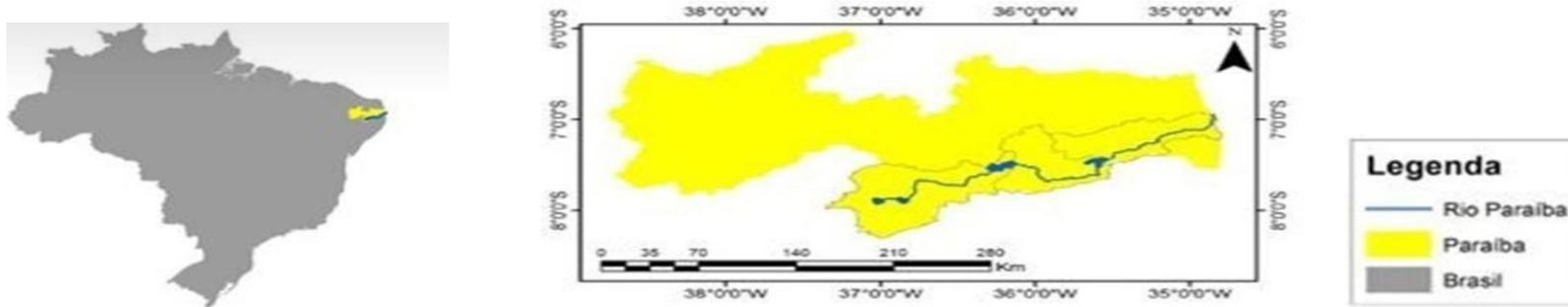
Confluência, esse ponto é caracterizado como a foz do Riacho Bodocongó. Este passa por vários ambientes não saneados na cidade de Campina Grande, recebe mais esgotos ao longo do seu percurso e entra no município de Barra de Santana.

Adutora, neste ponto, fica situado a adutora que abastece a cidade de Barra de Santana, foi observado a composição de plantas flutuantes e emergentes. Após o diagnóstico da condição ambiental dos cinco pontos amostrais do Rio Paraíba foram apresentadas propostas que favoreçam a despoluição do Rio Paraíba.

Tabela 1 - Localização dos pontos de análise na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – PB, em trecho entre Barra de Santana e Barragem de Curimatã-PB.

Ponto de Análise	Latitude (Coordenadas)	Longitude (Coordenadas)
Rio Paraíba, Barragem	7°31'18.6°S	36°00'41.1° W
Rio Paraíba, Montante	7°31'18.6°S	36°00'41.1 ° W
Rio Paraíba, Jusante	7°32'56.8 °S	35°58'43.1° W
Rio Paraíba, Confluência	7°31'26.5°S	36°00'08.0 ° W
Rio Paraíba Adutora	7°31'18.5°S	36°00'41. 0°W

Figura 3 - Localizações na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba-PB, e respectiva identificação dos pontos de coleta de dados.



(OLIVEIRA, 2018)



Barragem. B. Jusante, B. Montante



Confluência



Adutora.

Localização dos pontos de análise da Água no Rio Paraíba

5.1.5. Avaliação da Qualidade da Água: Análise de Parâmetros Físicos e Químicos

O monitoramento da qualidade da água foi feito a partir de variáveis físicas, químicas e biológicas (Quadro 5). O conhecimento e o entendimento das variáveis são fundamentais no processo de tratamento dos recursos hídricos. No Quadro 5, estão os parâmetros de análise de qualidade da água e respectivos métodos de análises.

Tabela 2 - Parâmetros Físicos, Químicos e Biológicos para o monitoramento da qualidade da água de respectivos Métodos de Análises, no Médio Rio Paraíba, no trecho Barra de Santana, Paraíba, Brasil.

Parâmetros	Métodos
Temperatura	Sensor de temperatura
pH	pHmetro digital
Oxigênio Dissolvido	Oxímetro digital
Nitrito	4500 NO ₂ – B Método colorimétrico (CLESCERI <i>et al.</i> , 2005)
Nitrato	4500 NO ₃ – E Método da coluna de cádmio (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)
Amônia	4500 NH ₃ – F Método do fenol (CLESCERI <i>et al.</i> , 2005)
Ortofosfato	4500 P – E Método do ácido ascórbico (CLESCERI <i>et al.</i> , 2005)
Fósforo Total	4500 P – B.5 Método da digestão pelo Perssulfato / 4500 P – E Método do ácido ascórbico (CLESCERI <i>et al.</i> , 2005)
Clorofila – <i>a</i>	Extração com Acetona (90%)/ Lorenzen (1967)

As amostras foram sempre coletadas no período entre 11:00 e 15:00h. A água coletada para as análises de nutrientes era retirada da subsuperfície (\approx 0,20m). Neste sentido, os nutrientes nitrogenados e fosfatados foram determinados seguindo métodos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (RICE *et al.*, 2017). Assim, todos os nutrientes foram analisados, por métodos colorimétricos em espectrofotômetro (SPECTRUMLAB 22PC).

Para a análise da clorofila-*a*, as amostras foram coletadas em recipientes de polietileno e subsequentemente concentradas sob pressão negativa, utilizando filtros de fibra de vidro Whatman GF/C com 47 mm de diâmetro. O solvente empregado foi

acetona a 90%. Após um período de 24 horas de extração, conduzida no escuro e a baixa temperatura, procedeu-se à tomada espectrofotométrica das medidas de absorvância dos extratos a comprimentos de onda de 665nm e 750nm, tanto antes quanto após a acidificação com HCl a 1N.

Comunidades Planctônicas

Zooplâncton

As amostras da comunidade zooplânctônica foram obtidas através da filtração de 50 litros de água para cada uma das três réplicas, utilizando uma rede de plâncton bicônica com malha de 45µm de abertura. Posteriormente, as amostras foram fixadas em formol a 4% e contadas na câmara de Sedgewick-Rafter, considerando um mínimo de 100 indivíduos. A identificação das espécies foi realizada até o nível de espécie para os Cladocera, com base na literatura especializada de Elmoor-Loureiro (1997), enquanto para os Rotifera, a referência utilizada foi Koste (1978). Quanto aos Copépodes, a identificação foi realizada apenas até o nível de grupos (Calanoida, Cyclopoida e Harpacticoida), considerando as diferentes fases de vida, como náuplios, copepoditos e adultos.

5.1.6 Coletas de Amostra

As análises da qualidade da água do Rio Paraíba foram medidos *in situ* pH (pHmetro digital), condutividade elétrica (condutivímetro digital) temperatura e oxigênio dissolvido (oxímetro digital).

Para a determinação das concentrações de nutrientes, as amostras de água foram coletadas e armazenadas em garrafas de polietileno devidamente lavadas com ácido clorídrico. Cada amostra foi devidamente identificada e transportada para o Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) para análise.

Essas foram filtradas com o auxílio de uma bomba a vácuo em um filtro GF-C. Após a filtragem, as amostras foram congeladas até a sua análise. Todas as análises e amostras foram coletadas em três réplicas, sendo os resultados apresentados como valores médios. O filtro foi posteriormente usado para as análises de clorofila-*a*.

6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O capítulo 2 comparou os 5 pontos estatisticamente, para avaliar o impacto causado pela entrada do afluente Riacho Bodocongó no Rio Paraíba, para verificar se mudava significativamente a qualidade de água.

Para as análises dos dados foram utilizados testes estatísticos de Levene, para verificar a homocedasticidade dos dados, foi utilizado também o teste Anova, e o teste de comparação múltipla de Tukey, e/ou Dunn, com todas as réplicas (3) e amostras temporais (3), totalizando um N de 15 para cada parâmetro em cada mês. Os valores encontrados dos parâmetros foram comparados com a Resolução CONAMA n.º 357/2005, para comparar com a classificação do Rio Paraíba, que neste trecho é Classe 2.

7 PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Estes dados foram obtidos através dos dados de precipitação pluviométrica anual da cidade de Barra de Santana, referentes ao mês de março de 2022 a abril de 2023. Esses dados foram obtidos através do site da AESA.

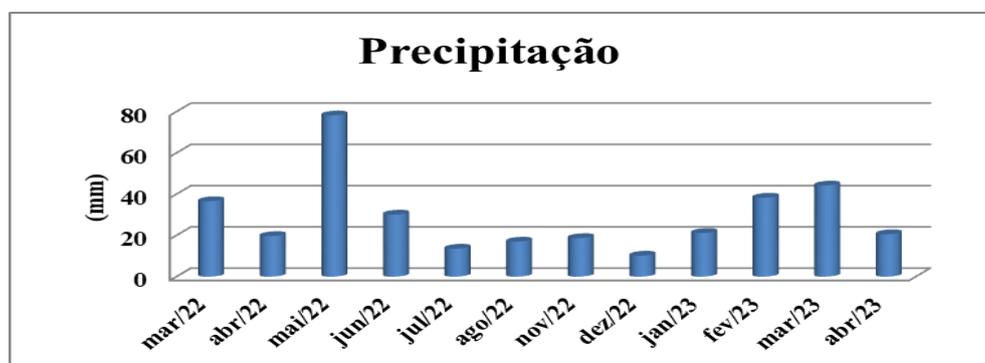
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA NA BARRAGEM DO FEIJÃO

A pesquisa teve duração de um ano, entre os meses de março a abril de 2022 e janeiro, março e abril de 2023, Para este estudo o período com maior precipitação e interferência pluviométrica, foi nos meses de março de 2022/2023 (Figura 3), com precipitação de em média 36,6 mm, e 44,2 mm, respectivamente, enquanto para o período de estiagem a menor precipitação foi registrada nos meses de abril 2022/2023.

Figura 4: Precipitação pluviométrica da cidade de Barra de Santana entre os meses de Março/Abril de 2022 e Jan/Abril de 2023



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

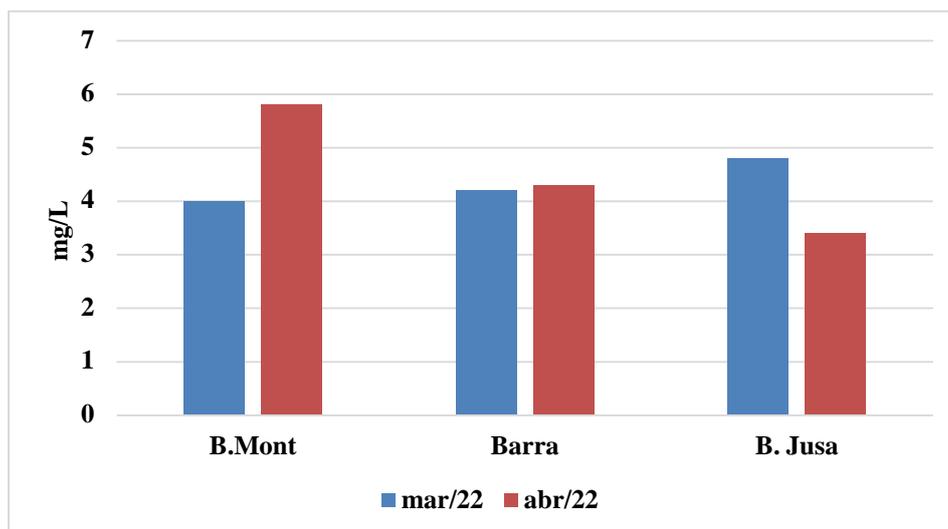
As concentrações de Oxigênio dissolvido variaram entre 3,4 e 5,8 mg.L⁻¹, e a concentração mais elevada foi registrado no mês de abril, no ponto B. Mont. provavelmente, esse aumento deve-se a uma maior taxa da fotossíntese nesse ponto, nesse mês, por ter menor precipitação e maior produtividade algal.

No ponto Barragem, não se verificou diferença entre os meses, mas em março estava mais oxigenado a jusante e em abril a montante da barragem (Fig. 4). Em março o padrão de oxigênio dissolvido foi de aumento de montante para jusante, enquanto em abril verificou-se o inverso, um decréscimo nas concentrações de oxigênio. A menor precipitação parece não ter favorecido as concentrações de oxigênio neste trecho pesquisado. Em março as diferenças entre os pontos foram menores.

Valores semelhantes foram encontrados na pesquisa conduzida por Carvalho (2007), identificando um valor médio de 3,6 mg.L⁻¹ de oxigênio dissolvido para o contexto analisado por essa pesquisa. O autor focou que a diminuição do oxigênio dissolvido nesse ambiente pode ser atribuída, em grande parte, às atividades humanas ao longo dos anos, desencadeando uma degradação significativa desse ecossistema. Isso revela que rios com impactos antropogênicos, apresentam valores de oxigênio dissolvido reduzidos.

Na pesquisa de Zanini (2009), foi registrado um valor de oxigênio dissolvido (OD) próximo a 4,0 mg.L⁻¹ durante todo o ano em uma nascente. Esses valores, segundo os autores, podem estar associados ao fato de que esses corpos de água recebem esgoto doméstico tratado das cidades de Cascavel e Toledo, respectivamente, no entanto, nascentes apresentam baixa oxigenação em suas águas, por não apresentarem ainda atividade de fotossíntese, por terem saído do lençol freático recentemente(GOMES,2005).

Figura 5: Valores de Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹), no Médio Rio Paraíba em trecho de Barra de Santana, Paraíba/Brasil, meses Março/Abril 2022

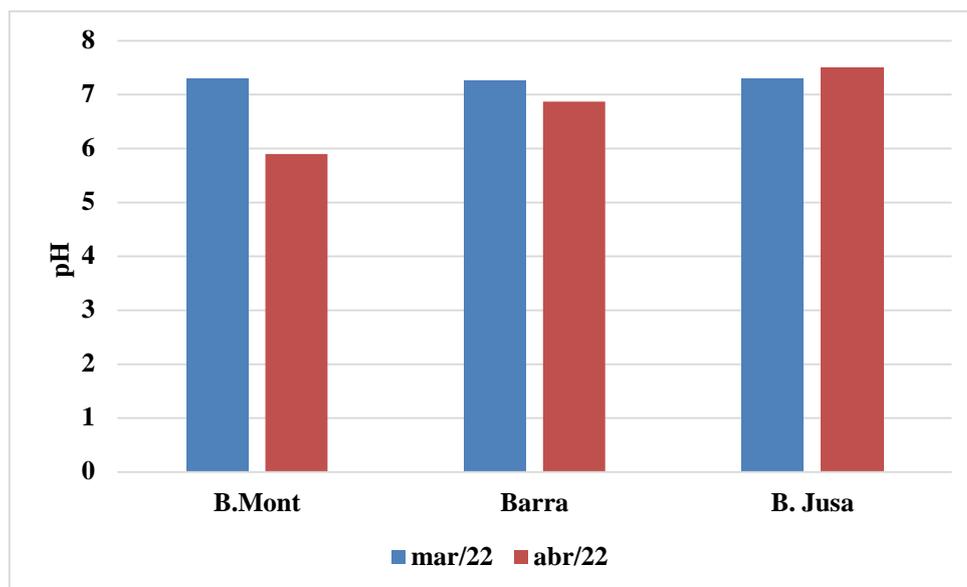


Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Os valores de pH variaram entre 5,9 e 7,5, mantendo-se a maior parte do tempo em valores próximos de 7,0 (Fig.5). A maior diferença entre os meses foi registrada no ponto B.Mont. em que no mês de abril os valores de pH estavam mais ácidos, com o menor valor registrado 5,9. Como em abril houve menor precipitação, houve menos diluição pelo efeito de mais água no rio. No ponto B. Mont, devido à maior presença de plantas, verificou-se maior decomposição, tornando o meio mais ácido, devido à liberação de CO_2 e formação de ácidos húmicos derivados da decomposição. A degradação da matéria orgânica também causa um maior consumo de oxigênio dissolvido no meio aquático e além da degradação pelas próprias plantas presentes nos rios é também atribuída ao lançamento significativo de efluentes domésticos e industriais (SPERLING, 2005).

Resultados semelhantes foram identificados na pesquisa conduzida por Pereira et al. (2007), no Rio Murucupi, que evidenciou características ácidas com valores de pH variando entre 4,35 e 6,15. Em outro estudo, Pontes et al. (2012) observaram que na microbacia do Córrego Banguelo, no Estado de Minas Gerais, a maioria dos pontos monitorados também apresentou água mais ácida, especialmente durante o período de chuvas. Esse fenômeno pode estar associado ao aumento nos níveis de ácidos orgânicos, liberados pela decomposição de matéria orgânica carregada para a água pela bacia de drenagem.

Figura 6: Valores do pH, no Médio Rio Paraíba em trecho de Barra de Santana, Paraíba-Brasil/meses de Março/Abril de 2022

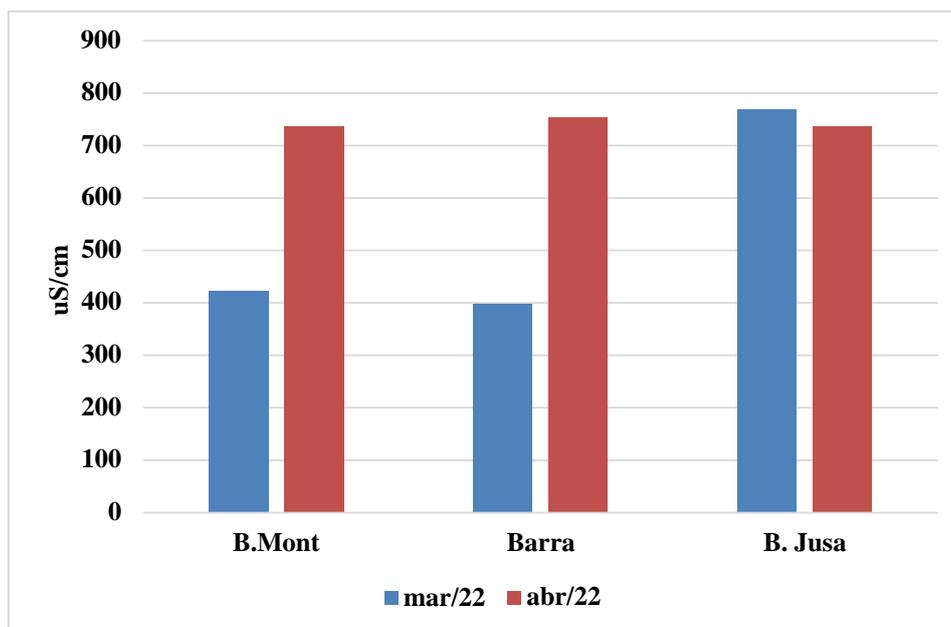


Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Os valores de condutividade variaram de 400 a 768 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e foram mais elevados no mês de abril que em março, sendo mais elevados em março no ponto B. jusante (Fig.6). O fato de ter chovido mais no mês de março diluiu os sais minerais, no entanto, por ter macrófitas nos pontos B. Mont e Barra, isso auxilia na redução de sais minerais (reduzindo a condutividade) o que não se verificou no ponto B. Jusa, que não apresenta plantas, mas em abril, com menos precipitação para diluir os sais, o esgoto que traz matéria orgânica e que decompõe liberando estes sais minerais, tornou a condutividade elétrica mais elevada.

Valores mais elevados de condutividade foram encontrados na pesquisa de Andrade et al. (2016) que registraram valores de condutividade no Açude Bodocongó a partir de 2000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em 2016, demonstrando a capacidade que este açude tem para a acumulação de sais.

Figura 7: Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), do Rio Paraíba no Médio Rio Paraíba, em trecho de Barra de Santana-Paraíba /Brasil, meses Março/Abril2022



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

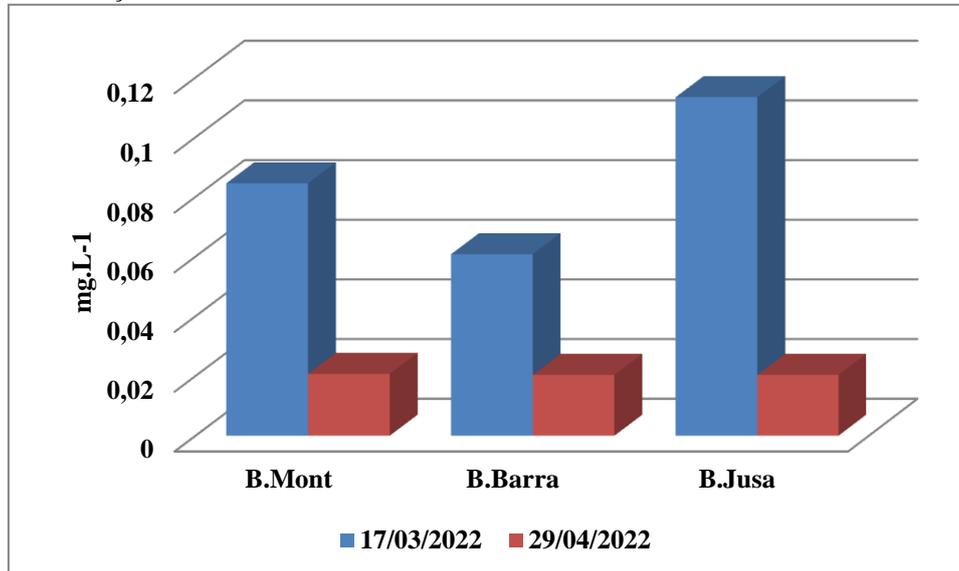
Em relação à amônia (Figura 7), destaca-se que, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, os valores de referência para este parâmetro estão condicionados ao pH do corpo hídrico. Em todos os pontos analisados, o pH foi inferior ou igual a 0,11 mg.L⁻¹. Dessa forma, para águas classificadas como classe 2, o valor máximo permitido para a amônia é de 3,7 mg.L⁻¹. Nesse contexto, todos os pontos estavam em conformidade, apresentando valores dentro do limite estabelecido, com uma média de 0,15 mg/L e um máximo de 1,41 mg.L⁻¹.

As concentrações de amônia foram abaixo de 0,12 mg.L⁻¹, na maior parte dos meses e pontos amostrais, mas no mês de março, mais chuvoso, no ponto B. Jusa as concentrações alcançaram o valor máximo de 0,11 mg.L⁻¹ (Fig. 7). O fato deste ponto apresentar a presença mais próxima de animais (gado) e ter menos presença de vegetação, favorece o aumento de matéria orgânica a ser carregada para a água em período chuvoso, o que por decomposição libera amônia. No período com menor precipitação (abril), as concentrações de amônia foram semelhantes em todos os pontos analisados.

Valores análogos foram identificados na pesquisa conduzida por Watanabe et al. (1990), na qual se observou que, durante o período de estiagem, a concentração de amônia atingiu o valor de 0,15 mg.L⁻¹, enquanto a concentração registrada durante o período de chuvas, foi mais elevada, de 0,40 mg.L⁻¹. Este fenômeno sugere que há aumento da decomposição durante os períodos de chuva, o que resulta em maiores

concentrações de amônia, contribuindo assim para impactos negativos nos ecossistemas aquáticos.

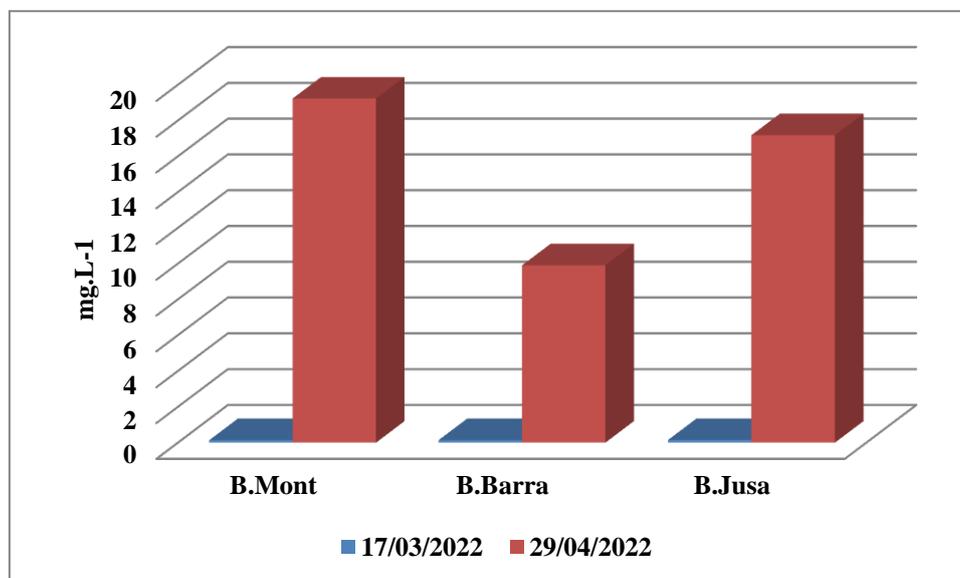
Figura 8: Concentração de Amônia (mg.L^{-1}), no Médio Rio Paraíba, no trecho Barra de Santana, Paraíba, Brasil, meses Março/Abril/2022.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

As concentrações de nitrito foram muito mais elevadas no mês de abril, o efeito diluidor da chuva fez-se sentir principalmente no mês de março, mês em que as taxas de precipitação foram mais elevadas. Não se verificou diferença entre os pontos no mês de março, a correnteza mais forte pela maior quantidade de chuva homogenizou mais o ambiente, em abril, com menos água e menos corrente, o ponto B. Mont. foi o que apresentou concentrações mais elevadas de nitrito (Fig. 8). A presença de maior concentração de oxigênio neste ponto (Fig. 4) pode ter favorecido a passagem de amônia para nitrito, aumentando as concentrações deste composto, neste ponto.

Figura 9: Concentração de Nitrito (mg.L^{-1}), no Médio Rio Paraíba, no trecho Barra de Santana, Paraíba, Brasil, meses/Março/Abril2022.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Essas menores concentrações de nitrito nos três pontos no mês de março está relacionada com a maior quantidade de água pelo maior índice de precipitação, diluindo este composto, visto que as concentrações de oxigênio por si só não explicam esta diferença entre os meses, por ser o oxigênio um elemento que possibilita a nitrificação.

Nesse contexto, durante o período chuvoso, a pesquisa conduzida por Turnell (2012) revelou uma concentração de nitrito de $0,004 \text{ mg L}^{-1}$, valor semelhante ao encontrado por Watanabe et al. (1990), que registrou $0,003 \text{ mg L}^{-1}$. No entanto, essas concentrações de nitrito foram muito inferiores às registradas nesta pesquisa, em que as concentrações de nitrito em março foram cerca de $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$ e em abril chegaram a cerca de $20,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Turnell (2012) sugeriu que esse aumento pode ter estado relacionado com a aplicação de fertilizantes sintéticos, uma vez que nas proximidades dos rios existem cultivos de diferentes espécies nativas. Esse padrão de concentração reforça a hipótese de que atividades agrícolas podem influenciar significativamente nas concentrações de amônia nos corpos de água, contribuindo para potenciais impactos adversos nos ecossistemas aquáticos. Rios pouco oxigenados, podem manter o nitrogênio em formas de amônia e nitrito. Essa correlação entre o uso de fertilizantes e os níveis de amônia destaca a importância de práticas agrícolas sustentáveis para mitigar os efeitos prejudiciais ao meio ambiente aquático. No entanto, o lançamento de esgotos não tratados faz o mesmo efeito elevando as concentrações de amônia e de nitrito

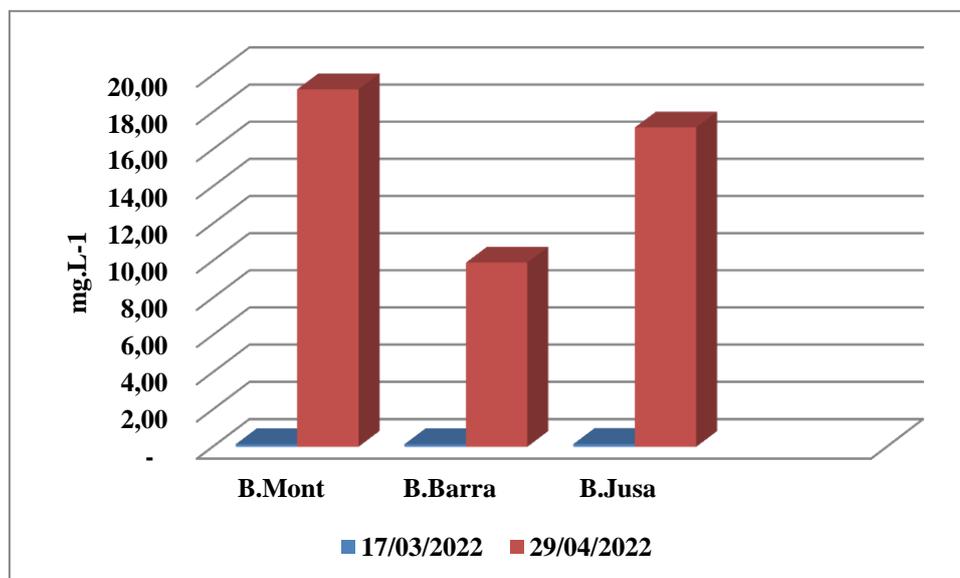
(MOURA, 2014). No caso do trecho analisado com esta pesquisa, as concentrações muito mais elevadas de nitrito em abril, em comparação com os dados das pesquisas de Watanabe Turnell, demonstra que a presença de esgotos pode ser muito mais impactante que a agricultura com os fertilizantes, visto que o nitrito no Rio Paraíba no trecho analisado apresentou concentrações de nitrito cerca de 47 vezes mais elevadas e por ser uma região semiárida, a agricultura não é uma atividade forte na região.

As flutuações nas concentrações de nitrato de março para abril foi notável, atingindo concentrações muito mais altas em abril, como ilustrado na Figura 9. Esse padrão foi semelhante ao registrado para o nitrito. Esse aumento pode ser atribuído, em parte, ao efeito diluidor das chuvas de março, que reduziram as concentrações deste composto, e o efeito inverso em abril, que por ter menos chuvas, registrou-se concentrações mais elevadas de nitrato.

Esses resultados coincidem com dados semelhantes da pesquisa de Turnell (2012) realizada em Barra de Bonito/SP, onde as concentrações de nitrato variaram de 4,41 a 8,75 mg L⁻¹. Os autores associaram que essa concentração seja predominantemente atribuída à presença de fertilizantes nas áreas ribeirinhas. Esse padrão reforça a hipótese de que práticas agrícolas, especialmente o uso de fertilizantes, desempenha um papel crucial nas variações nas concentrações de nitrato em corpos de água, destacando a necessidade de gestão sustentável desses insumos para mitigar impactos ambientais adversos. No entanto, nesta pesquisa as concentrações de nitrato, à semelhança do nitrito foram mais elevadas, variando de cerca de 10,0 a 19,0 mg.L⁻¹. Isso revela uma água mais eutrofizada e que o efeito da presença de esgotos insuficientemente ou não tratados pode ser mais impactante negativamente que a própria agricultura.

O nitrato é o resultado final da nitrificação e o nitrito o intermediário, como as águas do rio tinham oxigênio, favoreceu a nitrificação, por isso as concentrações de amônia foram baixas, enquanto que as dos outros dois compostos foram muito elevadas, demonstrando que a origem da poluição está longe, visto que a amônia reflete poluição recente. Como a fonte da poluição é principalmente a região de Campina Grande, a amônia se transformou em nitrito e nitrato pelo percurso até os pontos amostrais.

Figura 10: Concentração de Nitrato (mg.L^{-1}) no Médio Rio Paraíba, no trecho Barra de Santana, Paraíba, Brasil, meses Março/Abril 2022.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

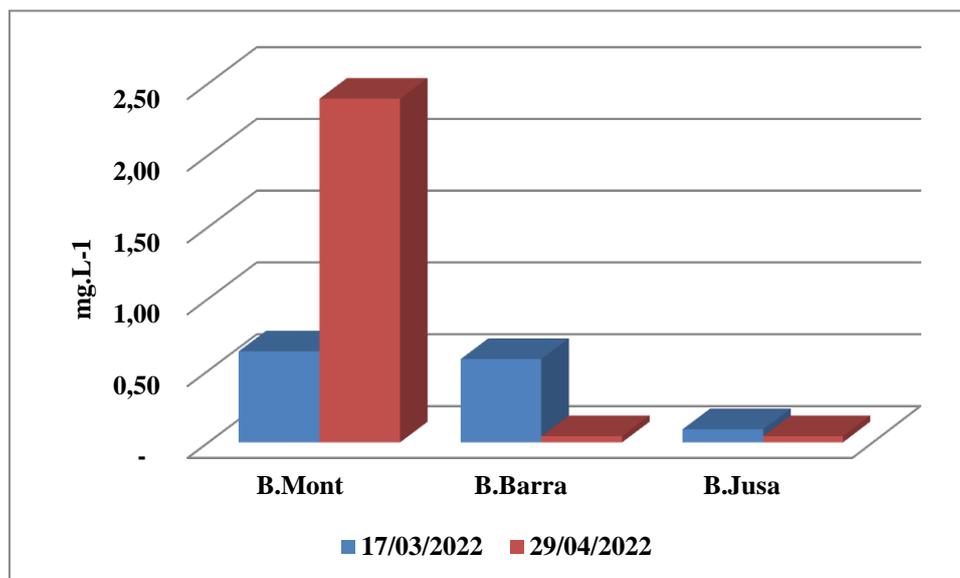
As concentrações de ortofosfato na água foram, não seguiram o padrão dos nutrientes anteriores, sendo muito mais elevadas em abril. Na realidade os valores mais elevados foram registrados em abril, mas para o ortofosfato no ponto B. Montante e para o fósforo total no ponto Barra. As concentrações de ortofosfato variaram de 0,04 a 2,39 mg.L^{-1} (Fig.10). Em março, os pontos amostrais apresentaram concentrações semelhantes, nos pontos B. Montante e B. Barra, reduzindo em B. Jusa, mas em abril as concentrações de fosfato foram mais elevadas na região B. Mont e semelhante nos outros dois pontos, no entanto, podem ser concentrações consideradas baixas, e a presença das plantas aquáticas auxiliou na redução de suas concentrações de montante para jusante.

O estudo realizado por Gorayeb (2011) no Rio Caeté, município de Bragança-PA, revelou concentrações de fósforo semelhantes, variando entre 0,08 e 2,22 mg L^{-1} . O autor sugere que esse aumento pode estar associado à passagem do rio pelo centro urbano, transportando toda a matéria orgânica para os corpos hídricos. Essa carga adicional de matéria orgânica pode ter o potencial de aumentar a produção primária nos ecossistemas aquáticos, elevando o estado trófico.

A influência das atividades urbanas nas concentrações de fósforo destaca a importância de uma gestão adequada das águas e resíduos na área urbana para minimizar impactos negativos nos recursos hídricos. A preservação da qualidade da

água é crucial para sustentar ecossistemas aquáticos saudáveis e garantir que as atividades humanas não comprometam irreversivelmente esses sistemas naturais. Considerando-se que com o aquecimento global há a tendência de redução de oxigênio dissolvido na água, quanto menos matéria orgânica chegar nos rios melhor, porque esta ao ser decomposta, os organismos decompositores consomem muito oxigênio, reduzindo ainda mais este gás na água.

Figura 11: Concentração de Ortofosfato (mg.L^{-1}), no Rio Paraíba, no trecho Barra de Santana, Paraíba, Brasil meses Março/Abril 2022.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

A observação das concentrações de fósforo total revela a maior concentração no ponto Barragem em abril de 2022, com uma subsequente redução na concentração a jusante (B. Jusante). Essa diferença pode ser atribuída a diversos fatores, sendo um deles a presença mais marcante de plantas no ponto Barragem.

A presença abundante de plantas nesse local pode desempenhar um papel importante na liberação de fósforo para a água, especialmente devido aos processos de decomposição das plantas. Durante a decomposição, ocorre a liberação de nutrientes, incluindo o fósforo, que pode enriquecer a água com concentrações mais elevadas desse elemento, mas por outro lado também o absorvem.

Além disso, a notável diferença na concentração de fosfato entre os dois meses analisados sugere que fatores sazonais, variações climáticas ou mudanças nas condições ambientais podem estar influenciando essas concentrações. Essa variação mensal

destaca a importância de considerar a sazonalidade e as condições específicas do ambiente ao interpretar dados de qualidade da água.

A intensificação das chuvas em março possivelmente exerceu um efeito diluidor nos compostos presentes na água, reduzindo suas concentrações. Em contraste, o mês de abril, caracterizado por uma menor precipitação, pode ter contribuído para um aumento nos níveis de nutrientes na água. Este fenômeno pode ser associado à entrada constante de esgoto no Rio Paraíba, particularmente após receber as contribuições do Riacho Bodocongó, que drena a região de Campina Grande.

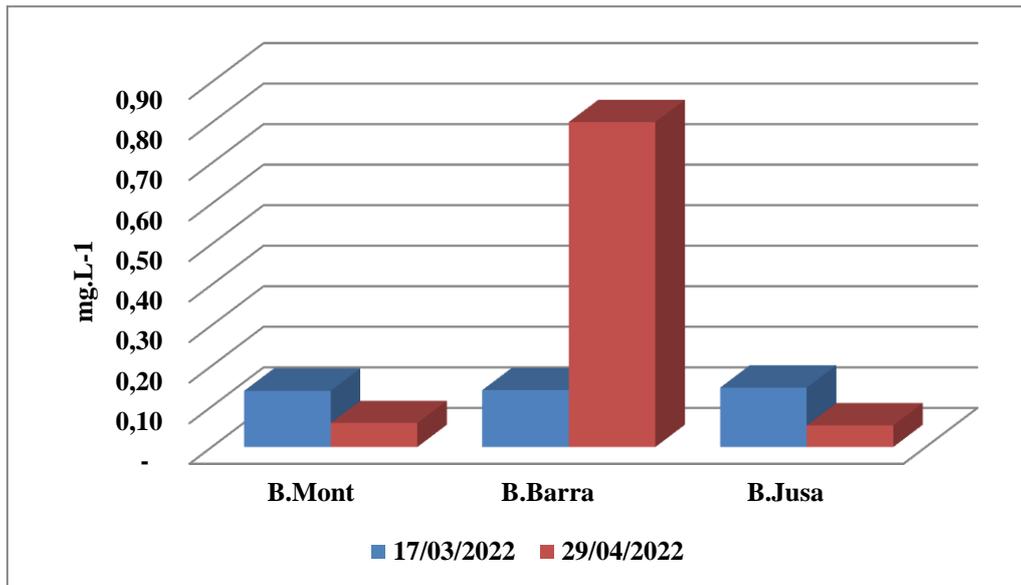
A presença contínua de esgoto na bacia hidrográfica, notadamente proveniente de áreas urbanas e industriais, é frequentemente associada à introdução significativa de nutrientes na água, incluindo fósforo e nitrogênio. Esses elementos, provenientes de atividades humanas, podem ter impactos adversos na qualidade da água e nos ecossistemas aquáticos.

Esses achados destacam a complexidade das interações ambientais que influenciam as concentrações de nutrientes na água e a importância de um monitoramento contínuo para compreender melhor os padrões sazonais e as fontes potenciais de contaminação

Também foi sentido um maior efeito da decomposição no ponto B. Mont., com a redução do pH, valores mais ácidos são compatíveis com pior qualidade de água, em virtude de maior degradação de matéria orgânica, corroborando também com os valores de condutividade elétrica, que em abril foram mais elevados nesse ponto, no entanto, as concentrações de oxigênio dissolvido foram mais elevadas em abril, neste ponto.

O aumento das concentrações de oxigênio, não deve ter sido pelo efeito de menor decomposição, visto que todos os indicadores apontam para o aumento desse efeito, mas pelo contrário, por maiores taxas de produção primária, por ter mais nutrientes disponíveis, isso pode ter aumentado a fotossíntese, e com isso a liberação de oxigênio.

Figura 12: Concentração de Fósforo Total (mg.L^{-1}) no Médio Rio Paraíba, no trecho Barra de Santana, Paraíba, Brasil, meses Março/Abril 2022



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

ANÁLISE DAS COMUNIDADES ZOOPLANCTÔNICAS

Para ter melhor compreensão do ambiente aquático, a comunidade zooplanctônica foi utilizada como bioindicadora. As amostras foram coletadas nos mesmos dias das amostras de qualidade de água.

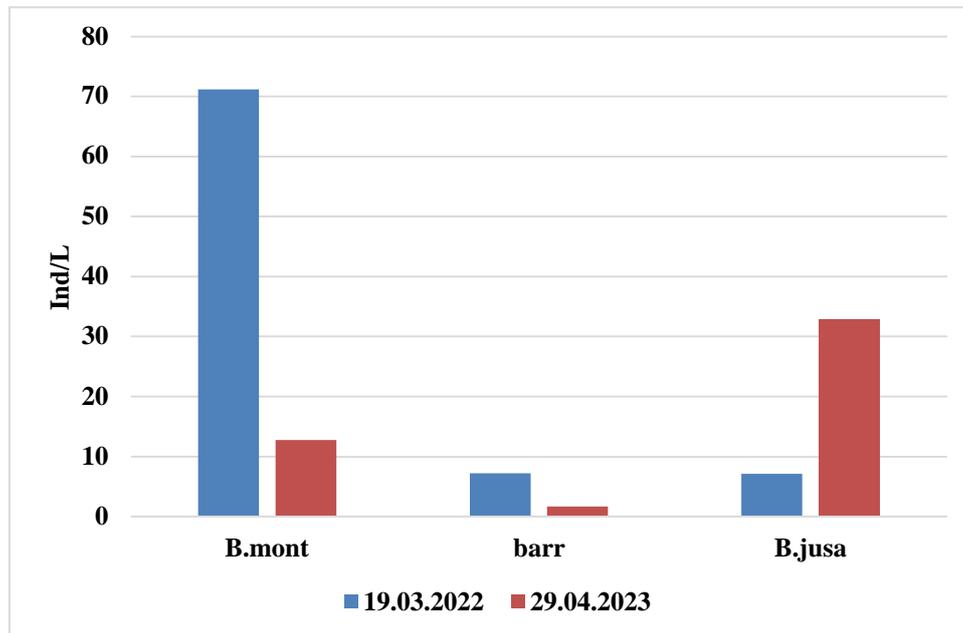
Para melhor entendimento, apresentaremos o zooplâncton total e por grupos.

Como pode ser visto na figura 3, no mês com maior precipitação verificou-se maior densidade de organismos no zooplâncton. Apesar da maior correnteza devido à maior precipitação estavam mais organismos na coluna de água. O Rio Paraíba quando passa pelo Sítio do Feijão, formando o balneário da Barragem Curimatã, recebe águas do Riacho Bodocongó, que tem um açude em Campina Grande. Ambientes lânticos favorecem o crescimento do plâncton (SOUZA, 2012), logo, com a água que sai do Açude Bodocongó, em maior quantidade em março, por ter mais chuva, sendo esta rica em plâncton, explica as maiores concentrações de plâncton na Barragem da Curimatã. Por outro lado, o ponto Barragem Montante, tinha maior presença de plantas aquáticas, o que pode também influenciar no aumento de densidades de zooplâncton total (ANDRADE, et al., 2014), principalmente por grupos que vivem associados a substratos, como o ticoplâncton.

No mês de março a maior densidade foi registrada para as formas larvares de Copepoda, os náuplios. No entanto, no mês de abril, foi o ponto a jusante que apresentou as maiores densidades totais de zooplâncton, mas menos da metade do mês anterior em relação à maior densidade registrada para esse mês. Assim, baseado nas densidades médias totais do zooplâncton pode-se dizer que a qualidade de água estava melhor para esta comunidade em abril que em março, na presença de maior quantidade de plantas, e em abril no ponto a jusante. Este ponto frequentemente apresentou em abril menor quantidade de nutrientes fosfatados, revelando uma melhor qualidade.

Áreas com plantas sofrem muitas vezes muita decomposição, o que parece ter ocorrido mais em abril que em março, baseado nas concentrações de nutrientes, isso pode ter criado condições de estresse para estes organismos em abril, com a presença de compostos tóxicos, como o nitrito que foi especialmente elevado neste mês (Fig.12). Já no ponto B. Jusa, esta comunidade foi beneficiada em abril, possivelmente por ser este ponto de melhor qualidade comparado com os outros dois, principalmente em relação aos compostos fosfatados.

Figura 13 - Densidades do zooplâncton total do Rio Paraíba, em trecho da Barragem do Feijão, meses Março e Abril de 2022.



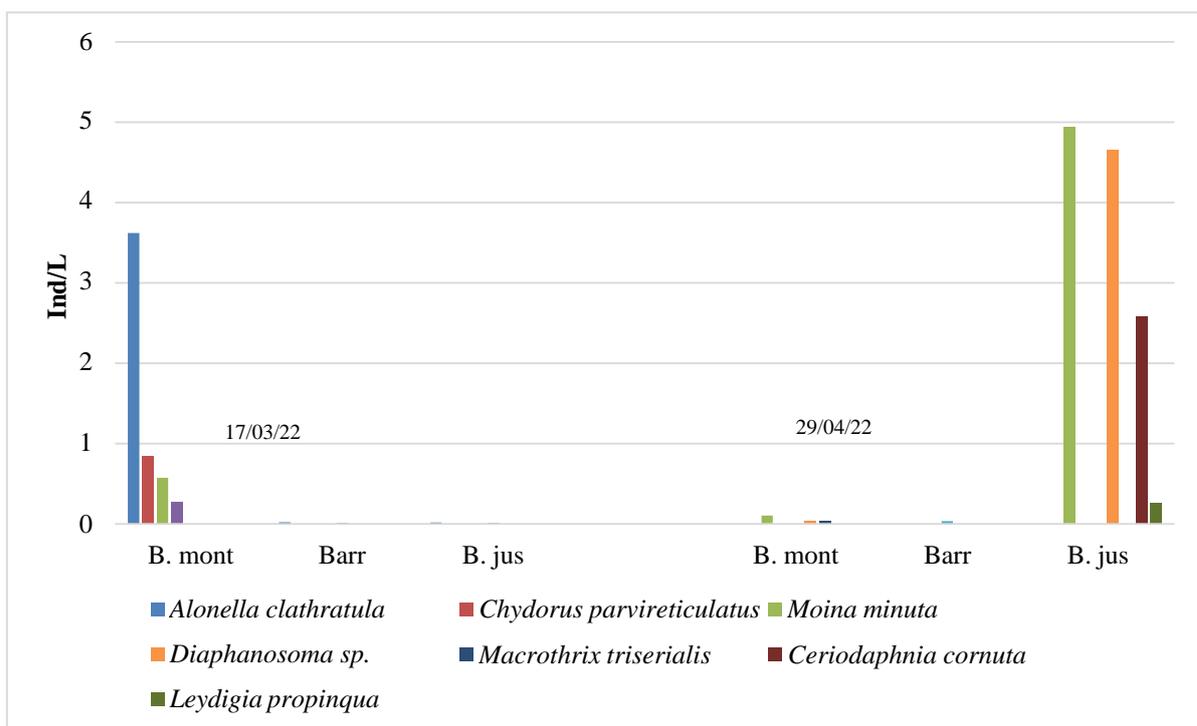
Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Cladocera

As densidades de Cladocera não foram muito elevadas, não passando de 5 Ind.L⁻¹, sendo as maiores densidades registradas em abril. No mês de março foram registradas

4 espécies (*Alonella clathratula*, *Chydorus parvireticulatus*, *Moina minuta*, *Macrothrix* cf. *triserialis*) e no mês de abril 6, sendo 3 diferentes das registradas no mês anterior (*Diaphanosoma* sp., *Ceriodaphnia cornuta* e *Leydigia propinqua*). Gêneros como *Alonella*, *Chydorus*, *Macrothrix* e *Leydigia* são de organismos que vivem perto de substratos, ticolâncton, e são beneficiados quando há a presença de plantas aquáticas, o que era o caso do ponto B. montante. *M. minuta*, *C. Cornuta* e *Diaphanosoma*, são espécies tipicamente planctônicas e foram mais abundantes no ponto B. jusante, em abril, visto ter este ponto amostral menos plantas aquáticas.

Figura 14-Densidades das espécies de Cladocera registradas no Rio Paraíba, no trecho da Barragem de Curimatã, no Sítio do Feijão em Março e Abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Copepoda

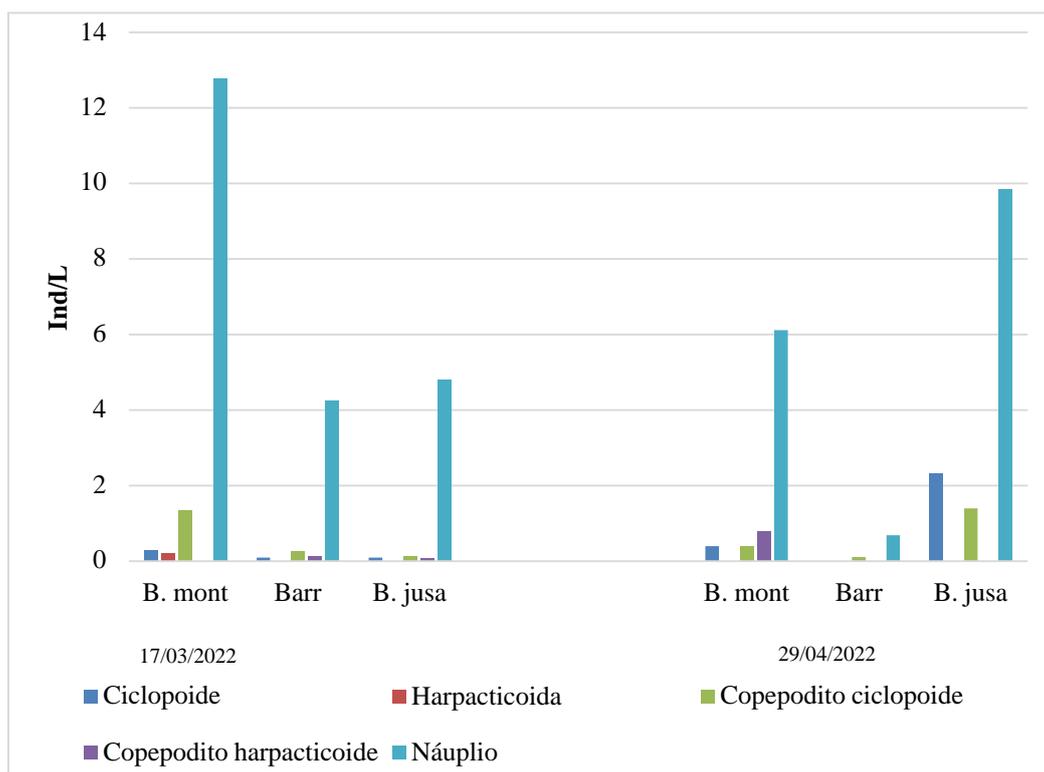
Os Copepoda estiveram representados apenas por duas Ordens Ciclopoida e Harpacticoida. Foram principalmente representados pelas suas formas larvares naupliares, mas em abril os Copepoda Ciclopoida adultos foram registrados em densidades mais elevadas no ponto B. jusante. As densidades mais elevadas de náuplios em março revelam águas mais favoráveis a esta comunidade neste mês, que são águas mais eutrofizadas (BARROS, 2013). Isso revela que a água melhora sua qualidade de montante para jusante, sendo o resultado de o ponto B. Montante estar mais próximo da fonte de contaminação, a confluência com o Riacho Bodocongó ou por haver transbordo destes organismos da Barragem Bodocongó, visto que em março os compostos

nutritivos não estarem em concentrações mais elevadas, comparando com o mês de abril. No entanto, o início das chuvas parece beneficiar este grupo.

Pesquisa feita no reservatório por Guarapiranga mostrou maiores densidades de náuplios no período de cheia, visto que neste período as características da água estavam mais alteradas, devido a maiores concentrações de nutrientes (MARCELINO, 2007), mas o comportamento em ambientes lóticos e lênticos é diferente. Em abril estes organismos foram mais abundantes no ponto B. Jusa, que foi onde se registrou também maiores densidades de Cladocera.

A presença de copepoditos de harpacticoide principalmente no Ponto B.Mont, tem relação com a presença de maior quantidade de plantas nesse local, visto que estes organismos vivem associados a substratos (TUNDISI et al., 1988).

Figura 15- Densidades dos grupos de Copepoda e suas fases larvais no Rio Paraíba, no trecho da Barragem do Feijão, em Março e Abri de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Rotifera

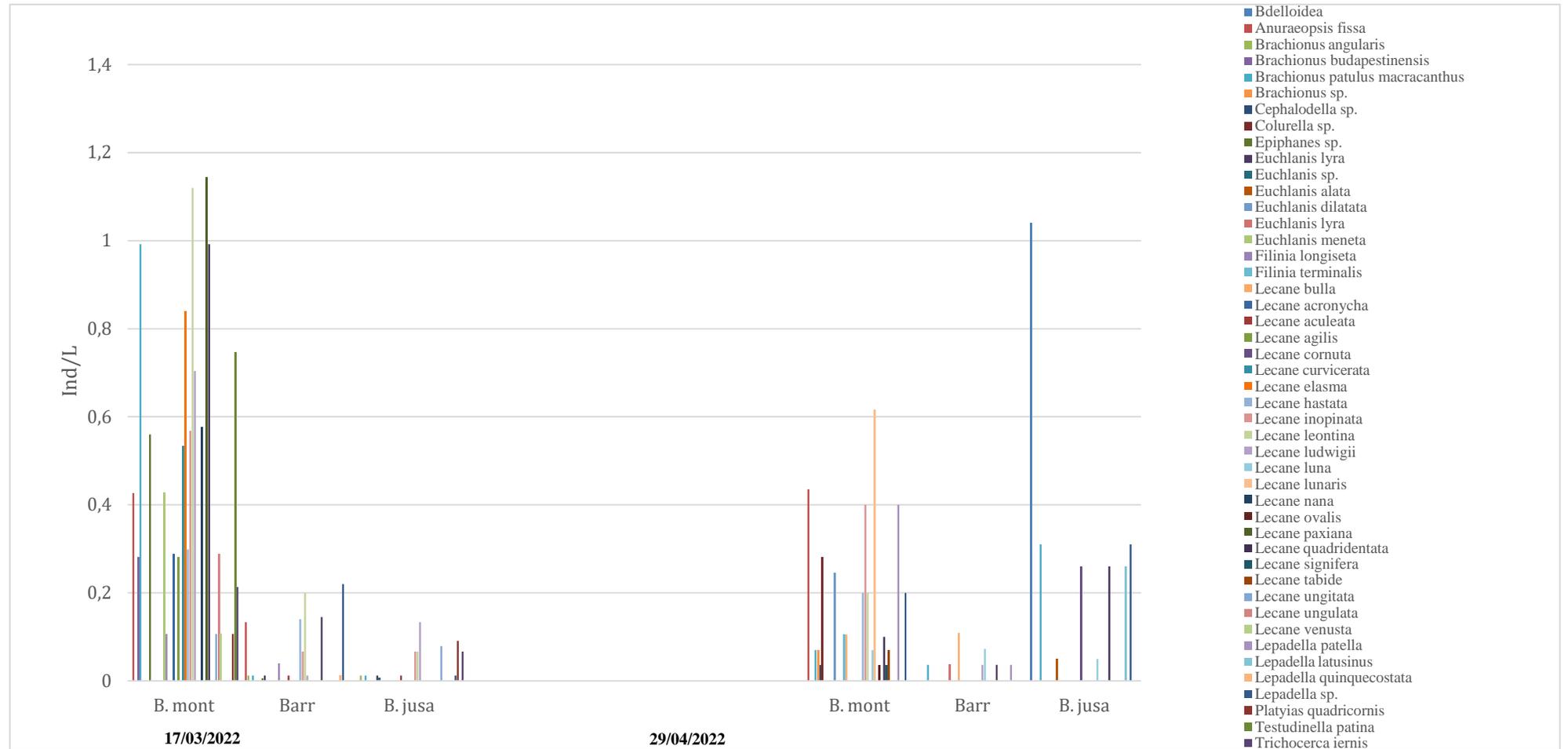
Os rotíferos estiveram representados por 29 espécies em março e por 27 em abril. Suas densidades foram em geral muito baixas, inferiores a $1,0 \text{ Ind.L}^{-1}$. O ponto que apresentou densidades mais elevadas de rotíferos foi o B.Mont, com um valor

médio total de 11,70 Ind.L⁻¹, no mês de março. No mês de abril nenhum ponto registrou densidade acima de 3,67 Ind.L⁻¹, pico de densidade registrado também no B. Mont. Isso revela que este ponto é o mais rico em nutrientes entre os 3 locais analisados e que o mês de março apresentou melhores condições ambientais, corroborando com o já indicado pelos Copepoda e Cladocera. No entanto, a presença de plantas neste ponto favorece a presença de muitas espécies de rotíferos, como as espécies dos gêneros *Lecane* e *Euchlanis*, por exemplo (SOUSA, 2007).

Muitas espécies estiveram presentes em um mês e não no outro. O Gênero de *Brachionus*, que é indicador de águas mais eutrofizadas esteve com 3 espécies presentes no mês de março (*B.angularis*, *B. budapestinensis* e *B. patulus macracanthus*), enquanto que no mês de abril *B. patulus macracanthus*, *B. bidentata* e *B. urceolaris* estiveram presentes. O gênero *Euchlanis* esteve representado por 6 espécies, mas 3 espécies em um mês e outras 3 diferentes no outro. O gênero *Lecane* esteve representado por 15 espécies no mês de março e por 12 no mês de abril. Muitas estiveram presentes apenas em um dos meses (para mais detalhes ver Tabela ... em anexo). Este grupo vive associado a substratos, sendo beneficiado pela presença de plantas.

As espécies mais abundantes em abril foram *Brachionus patulus macracanthus*, *B. urceolaris*, *Lecane leontina*, *Lecane ludwigii*, *Lecane paxiana*, *Lecane quadridentata* e *Testudinella patina*. No mês de abril as mais abundantes foram *Lecane lunaris* e *Anuraeopsis fissa* no ponto B. Mont, e *Bdeloidea* no B. Jusa (Fig.1

Figura 16- Densidades de espécies de Rotifera no Rio Paraíba, no trecho da Barragem do Feijão, em Março e Abril de 2022



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa.

Baseado nos organismos bioindicadores da comunidade zooplanctônica pode-se dizer que a presença de plantas foi determinante nas densidades deste grupo, sendo as densidades mais elevadas no mês de março, no ponto com mais plantas (B. Mont) demonstrando talvez menos estresse ambiental, visto que este grupo geralmente apresenta maiores densidades em ambientes mais ricos em nutrientes, mas o mês de abril foi o que registrou concentrações de nutrientes mais elevadas, incluindo o nitrito, que é tóxico (Fig. 8), o que pode ter inibido o crescimento desta comunidade em abril. Já no ponto B. Jusa, o comportamento da comunidade foi o inverso, sendo mais abundante no mês de abril, mas mais associado às densidades de náuplios, que são mais abundantes em águas mais eutrofizadas, que foi o registrado em abril.

Dessa forma, pode-se dizer que o local em que ocorre a presença de banhistas, maior quantidade no ponto B. Jusante é o local menos impactado, que apresenta melhor qualidade de água, enquanto que antes da água entrar na barragem, devido à presença de grande quantidade de plantas no ponto B. Mont, alguns parâmetros perdem qualidade.

Também é possível verificar a forte dinâmica ambiental que ocorre relacionada com as taxas de precipitação, mesmo que só em dois meses, foi possível observar alterações na comunidade zooplanctônica.

QUALIDADE DAS ÁGUAS NO TRECHO MÉDIO DO RIO PARAÍBA-PB À LUZ DA CLASSIFICAÇÃO CONAMA 357 CLASSE 2

Para avaliar os impactos decorrentes do lançamento de esgotos não tratados provenientes da cidade de Campina Grande sobre a qualidade das águas em uma seção do curso médio do Rio Paraíba, na Paraíba (PB), foi necessária realizar o monitoramento de diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água. Esses parâmetros permitem uma compreensão do estado atual da qualidade da água e a identificação de possíveis riscos ambientais e à saúde associados ao despejo de esgotos não tratados (conforme apresentado na Tabela 2).

Nesse contexto, os dados obtidos foram confrontados e interpretados considerando as classificações estabelecidas pela Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005, a qual define os padrões de qualidade da água e classificação de corpos de água para os diversos usos previstos. Dentro da categoria 2, o Rio Paraíba-PB é classificado como adequado para a preservação da vida aquática e para sustentar atividades recreativas, incluindo o contato direto com a água.

O lançamento inadequado de esgotos domésticos e poluentes provenientes da cidade de Campina tem alterado a qualidade desse recurso, impactando não apenas os ecossistemas aquáticos, mas também a qualidade de vida das comunidades que dependem dessas águas, conforme evidenciado na análise dos pontos de amostragem apresentada na Tabela 2. A seguir, serão detalhados os dados interpretados, considerando as classificações da Resolução CONAMA 357/2005, para rios de Classe 2, no qual está classificado o trecho do Rio Paraíba analisado. Esses parâmetros fornecem informações cruciais sobre a qualidade da água, sua capacidade de sustentar a vida aquática e sua adequação para diversos usos, como abastecimento humano, recreação e conservação dos ecossistemas.

Amônia

Conforme os dados dispostos na Tabela 2, observa-se que a maioria dos pontos de amostragem apresenta concentrações de amônia dentro do limite máximo estipulado pela Resolução CONAMA 357/2005 para a Classe 2 de água doce, desde que o pH seja inferior a 7. As concentrações analisadas situam-se abaixo do limite máximo estabelecido de $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$, evidenciando que a qualidade da água nessas áreas é considerada adequada em relação aos níveis permitidos para a amônia.

Nitrato

Com base nos valores encontrados para nitrato, é evidente que a maioria dos pontos de amostragem (B. Montante e B. Jusante) no mês de abril de 2022 apresentou concentrações de nitrato acima do limite máximo de $10,0 \text{ mg.L}^{-1}$ estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para a Classe 2 de água doce. Apenas a Barragem esteve perto do limite máximo permitido para rios Classe 2, com $9,9 \text{ mg.L}^{-1}$. Isso indica que o rio experimenta períodos em que sua qualidade de água excede sua classificação original. Portanto, é essencial analisar os pontos de impacto, como o esgoto não tratado de Campina Grande que entra pelo afluente Riacho Bodocongó, a fim de melhorar essa situação e manter o rio dentro da Classe 2 em que foi classificado. No entanto, no mês de março, com maior precipitação, as condições de nitrato estiveram dentro do permitido em todos os locais amostrais.

Vale ressaltar que a redução na precipitação em abril pode ter contribuído para essa situação, uma vez que chuvas reduzidas podem resultar em menor diluição dos

poluentes. Portanto, medidas de controle e tratamento adequado do esgoto, especialmente nas áreas de influência dos afluentes, são cruciais para preservar a qualidade da água do rio e garantir que ele permaneça dentro da classificação estabelecida.

Nitrito

As concentrações de nitrito nos pontos de amostragem B. Montante e B. Jusante em março de 2022 estavam de acordo com o limite máximo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ estabelecido para a Classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005, indicando que os valores estavam dentro ou abaixo do limite permitido nesses pontos, com cerca de $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$, em todos os pontos amostrados. No entanto, em abril, no mês com menor precipitação, as concentrações de nitrito aumentaram, atingindo de $4,02 \text{ mg.L}^{-1}$ a $5,42 \text{ mg.L}^{-1}$, muito mais elevado que o limite máximo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ permitido para águas de Classe 2. Esses valores elevados estão em desacordo com o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas de Classe 2.

A presença de nitrito em concentrações tão elevadas pode ter impactos negativos significativos sobre os organismos aquáticos e a saúde do ecossistema aquático, visto que este composto é tóxico. Portanto, medidas urgentes, que visem a redução de entrada de matéria orgânica no rio, como o tratamento adequado de esgotos e mesmo biorremediação com rio são necessárias para mitigar esse impacto, as concentrações elevadas de nitrito, a fim de preservar a qualidade da água e proteger a vida aquática na região afetada, e permitir os múltiplos usos da água, tão necessários em uma região semiárida.

Fósforo total

Com base nos valores encontrados, verifica-se que no mês de março, com menos chuva, as concentrações de fósforo estiveram sempre acima do limite máximo para rios de Classe 2, no entanto, no mês de abril, os pontos de amostragem apresentam concentrações de fósforo total dentro dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Os valores de fósforo total chegaram a $0,80 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto que o limite máximo é de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$, o que indica uma preocupação significativa em relação à concentração de fósforo nessas águas, considerando que o fósforo é um indutor da eutrofização e está cerca de 10x acima do que seria permitido. O fato de ter mais fósforo

no rio durante o período chuvoso é sinal que o mesmo tem origem alóctone e entra por lixiviação da bacia de drenagem. O lançamento de águas cinzas no solo, que com as chuvas são carreadas para o rio, podem ser uma das fontes de contaminação por fósforo no Rio Paraíba, no trecho que passa por Barra de Santana.

Oxigênio Dissolvido

De acordo com os valores encontrados, pode-se observar que a maioria dos pontos de amostragem nos dois meses analisados não atendem ao limite mínimo de 5,0 mg.L⁻¹ de OD estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para a Classe 2 de água doce, com exceção do mês de abril em que o ponto Barragem Montante apresentou concentrações de oxigênio de 5,8 mg.L⁻¹. As concentrações de oxigênio nos outros pontos variaram entre 3,4 e 4,9 mg.L⁻¹. É importante monitorar e tomar medidas para melhorar o nível de oxigênio dissolvido nessas áreas, pois a qualidade do oxigênio dissolvido é fundamental para a saúde da vida aquática e para a manutenção dos ecossistemas aquáticos. A presença de matéria orgânica, oriunda de esgotos eleva as taxas de decomposição, o que aumenta os decompositores, que consomem oxigênio. Dessa forma, mais uma vez se propõe o tratamento adequado de esgotos para melhorar a água do Rio Paraíba.

pH

Com base nos valores de pH encontrados, todos os pontos estão em conformidade com os padrões de qualidade da água, ou seja, estão dentro da faixa permitida de 6,0 a 9,0 estabelecida pela Resolução CONAMA 357/2005, para a Classe 2, exceto para o ponto Barragem Jusante no mês de abril 2022. Neste mês a precipitação foi menor, favorecendo o aumento das plantas aquáticas, aumentando a concentração de matéria orgânica neste ponto, o que deve ter aumentado a decomposição, e os decompositores que consomem oxigênio, justificando o valor mais baixo encontrado de pH 5.9, no entanto, muito próximo do limite mínimo de 6,0.

Dessa forma, os resultados registrados neste estudo, para a área usada para banho, são preocupantes, porque muitos dos parâmetros analisados não estão em concordância com os valores limites máximos previstos pela Resolução CONAMA 357/2005, principalmente o nitrito, o fósforo total e o oxigênio, estando em classes superiores, inclusive alguns extrapolando os limites estabelecidos para águas doces de

classe 3. Apenas águas doces classe 2 ou melhores, poderão ser utilizadas para recreação com contato primário, como banho, as águas de classe 3 já só devem ser usadas para recreação com uso secundário, logo sem contato direto.

A área balnear da barragem é muito importante para a população local e de fora, de forma que é essencial que seja determinada a fonte de poluição para que se faça o tratamento adequado. Há formas simples e de baixo custo para tratamento de ambientes aquáticos, com a inserção de substratos para aumento do biofilme, para que possa agir como biorremediador e fossas ecológicas de tratamento unitário (TEvap (Paes et al., 2014)) ou coletivo (TEWetland (Crispim et al., 2019)), para prevenir a entrada de nutrientes, isso deve ser aplicado para que o Rio Paraíba continue com a qualidade que deveria ter, Classe 2. Além disso, sistemas de biotratamento no próprio rio, usando a biorremediação com a estimulação de biofilme nativo (OLIVEIRA, 2020), pode ser uma forma de redução do estado trófico e retorno do rio à sua classificação de Classe 2.

Tabela 3. Comparação dos Valores dos Parâmetros Físico-Químicos da água entre o trecho Médio Rio Paraíba, com os Padrões da Resolução CONAMA 357/2005 - Águas Doces Classe 2, mese de Março/Abril 2022.

PARAMÊTROS	Pontos de Coletas	Março/2022	Abril/2022	Resolução CONAMA N° 357, de 17 de Março de 2005, Classe 2 - ÁGUAS DOCES.
AMÔNIA	Barra	0,06	0,02	Para pH ≤ 7,5: Limite máximo de 0,7 mg/L N
	B. Jusante	0,11	0,02	
	B. Montante	0,08	0,02	
NITRITO	B. Barra	0,14	4,02	1,0 mg/L N
	B. Jusante	0,15	4,67	
	B. Montante	0,14	5,42	
NITRATO	Barra	0,14	9,9	10,0 mg/L N
	B. Montante	0,14	17,18	
	B. Jusante	0,13	19,23	
FÓSFORO TOTAL	B. Barra	0,15	0,80	0,1 mg/L P (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)
	B. Montante	0,14	0,05	
	B. Jusante	0,37	0,06	
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	B. Barra	4,20	4,30	Não inferior a 5 mg/L O ₂
	B. Montante	4,05	5,80	
	B. Jusante	4,90	3,40	
pH	B. Barra	7,25	6,87	6,0 a 9,0
	B. Montante	7,38	7,57	
	B. Jusante	7,33	5,94	

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DO IMPACTO POR ESGOTOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE, NA QUALIDADE DE ÁGUA, ATRAVÉS DO RIACHO BODOCONGÓ, NO TRECHO MÉDIO DO RIO PARAÍBA.

No ano de 2023, foi conduzida uma análise sobre o impacto do Riacho Bodocongó, responsável por transportar uma significativa quantidade de efluentes domésticos não tratados vindos da cidade de Campina Grande, enriquecendo o Rio Paraíba com nutrientes em Janeiro, Março e Abril. Durante esse período, os dados meteorológicos indicaram um aumento progressivo na precipitação de janeiro a março.

Foram selecionados 5 pontos amostrais, um a montante da confluência do Riacho Bodocongó com o Rio Paraíba, no local da adutora de água para a cidade de Barra de Santana, outro logo após a confluência, a montante da Barragem Curimatã (B. Mont), na Barragem (Barra) e no ponto de barramento (B. Jusante). Ao diagnosticar as características limnológicas do trecho do Rio Paraíba, os resultados obtidos para essas variáveis revelaram diferenças significativas entre os pontos de estudo, destacando-se o ponto de confluência. Neste ponto, a qualidade da água apresentou uma maior quantidade de nutrientes, caracterizando um ambiente com um estado trófico mais elevado.

Como evidenciado nas figuras 4 a 8, a água na confluência entre o Rio Paraíba e o Riacho Bodocongó exibiu concentrações mais elevadas de nutrientes em comparação com a área balnear da barragem Curimatã, onde as concentrações foram menores. No entanto, esse aumento de nutrientes resultou na redução da qualidade ambiental do rio a jusante.

A qualidade da água do Riacho Bodocongó, que atravessa a cidade de Campina Grande, está contribuindo para a perda de qualidade da água a jusante de sua confluência com o Rio Paraíba. Apesar disso, o rio ainda demonstra capacidade de autodepuração, uma vez que a qualidade da água melhora nas imediações da barragem de Curimatã. No entanto, esse processo ainda contribui para a proliferação de plantas aquáticas, observada principalmente nos pontos B. Montante e Barragem. A análise desses padrões destaca a complexidade dos fatores que influenciam a qualidade da água e a necessidade contínua de monitoramento e gestão ambiental para preservar a saúde dos ecossistemas aquáticos, revelando a necessidade de tratamento adequado dos esgotos produzidos na cidade de Campina Grande.

Janeiro 2023

Analisando por meses e por parâmetros, em Janeiro de 2023 verifica-se que as concentrações de oxigênio foram mais elevadas na Confluência e as menores foram registradas no ponto Adutora (Fig.16). Na confluência por ter mais nutrientes a produção primária é mais elevada o que se reflete em maiores concentrações de clorofila-*a* (Fig. 18), o que por processos de fotossíntese é liberado mais oxigênio para o ambiente, explicando porque no ponto Confluência tem mais oxigênio, o inverso é verificado no ponto Adutora.

As temperaturas da água também apresentaram diferenças ao longo dos pontos analisados, sendo águas mais frias na Adutora e mais quentes após a Confluência. Águas com mais material particulado absorvem mais calor, logo ficam mais quentes (BARBOSA et al., 2012).

O gráfico da temperatura também demonstra que após o impacto o rio não retorna às condições anteriores à entrada do Riacho Bodocongó. Águas mais quentes são piores condições ambientais, visto que com temperaturas mais elevadas aumenta a insolubilidade do oxigênio e há maior perda para a atmosfera, deixando o ambiente com menos oxigênio (CORREIA et al., 2015)

O mesmo se verifica para a condutividade elétrica, que após sofrer o impacto do Riacho Bodocongó, o Rio Paraíba não retorna ao estado anterior, mesmo a jusante na Barragem (Fig.16). Os valores de condutividade foram perto de $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na Adutora e de $1600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ nos outros pontos.

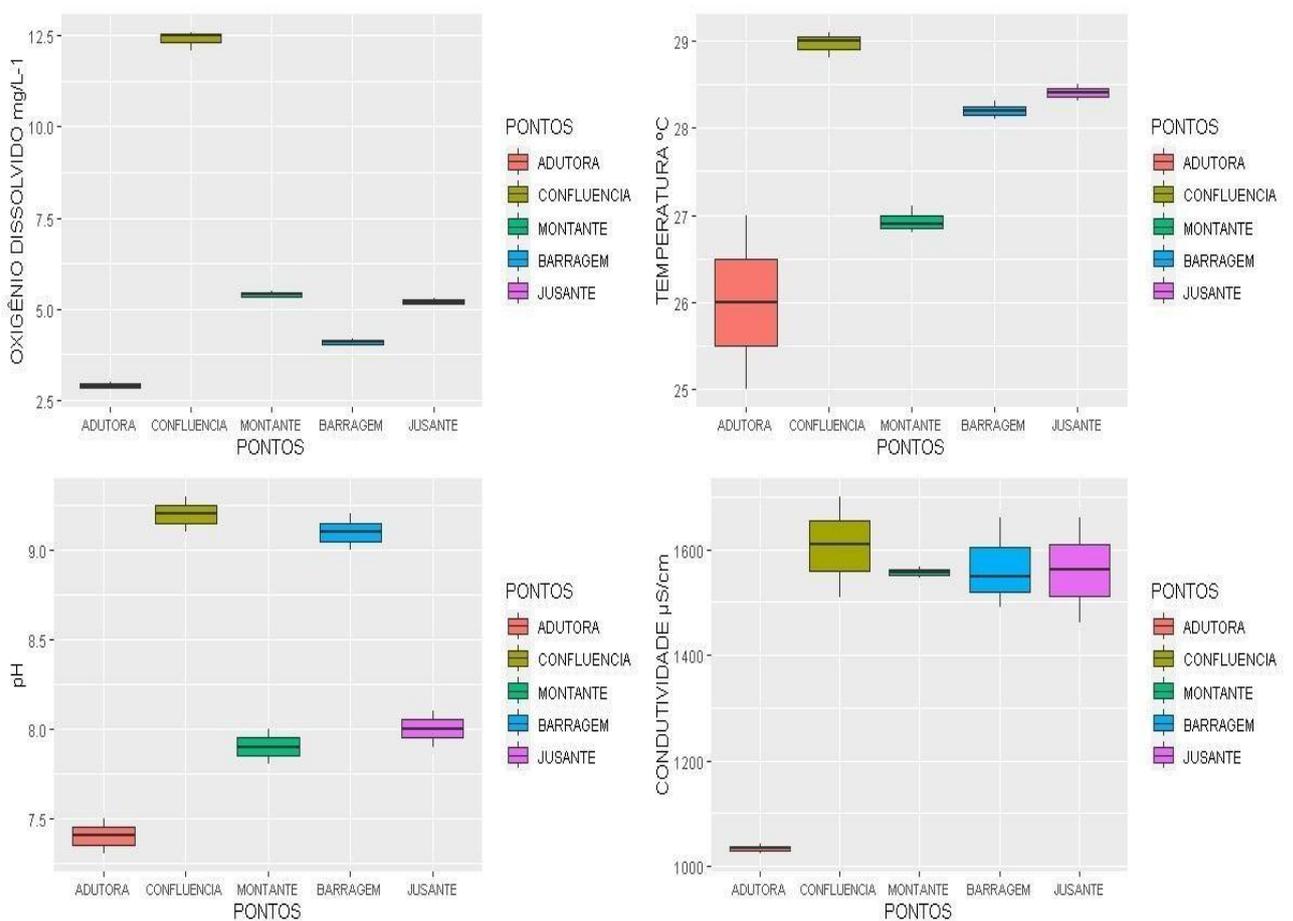
Valores de condutividade elétrica mais elevados estão relacionados com maior poluição. Áreas semiáridas também contribuem com o aumento da condutividade, o Rio Paraíba drena uma área de semiárido desde a sua nascente, e antes da confluência, apesar dos valores de condutividade já serem elevados, comparando com outros rios, o que representa a drenagem pela bacia semiárida, aumenta após receber o Riacho Bodocongó, revelando que este aumento está relacionado com a entrada de esgoto não tratado.

Os valores de pH oscilaram ao longo do percurso estudado, apresentando valores alcalinos em todo o trecho analisado, mas com valores acima de 9,0 na Confluência e na Barragem (Fig.16). Os valores elevados na Confluência podem ser devido ao Riacho Bodocongó receber águas do Açude Bodocongó, que por ser um

ambiente lântico, tende a ter uma elevada densidade algal, que devido aos processos de fotossíntese absorve CO_2 , aumentando a alcalinidade.

Açudes mais poluídos, que têm mais algas geralmente apresentam valores de pH mais elevados (BARBOSA et al., 2012). No ponto Barragem também tem a presença de muitas plantas submersas, que realizando fotossíntese e absorvendo CO_2 , poderiam causar um efeito semelhante, localmente.

Figura 17. Variação dos parâmetros físicos e químicos em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana, Paraíba, Janeiro, 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Verifica-se que em janeiro de 2023 a amônia apresentou concentrações que variaram de perto de $0,58$ no ponto Adutora, até $2,46 \text{ mg.L}^{-1}$, no ponto montante (Fig.17). As concentrações de amônia apresentaram diferença significativa da adutora com todos os outros pontos amostrais, com $p < 0,001$, sendo de melhor qualidade a água que passa pelo ponto Adutora, com menores concentrações de amônia (Fig.17).

Isso é um bom sinal, demonstrando que o abastecimento da cidade de Barra de Santana tem menores concentrações de amônia, que é tóxica, mas demonstra o impacto negativo causado pela entrada do afluente do Riacho Bodocongó, que drena a cidade de Campina Grande, e que a jusante, na região da barragem ainda é sentido o aumento da concentração de amônia, reduzindo apenas no ponto Barragem.

O ponto Confluência também apresentou diferença significativa com os pontos, adutora e a barragem, com valores de $p < 0,001$ e montante, com $p = 0,047$ e não apresentou diferença com o ponto B. jusante. Com isso verifica-se que o impacto causado no Rio Paraíba pelo Riacho Bodocongó, sentiu-se até a área da Barragem do Feijão. Principalmente criando áreas ricas em vegetação, que por um lado podem contribuir com a retenção de nutrientes, mas depois contribuem também com a liberação desses nutrientes, pela decomposição das plantas (PÉREZ, 2015).

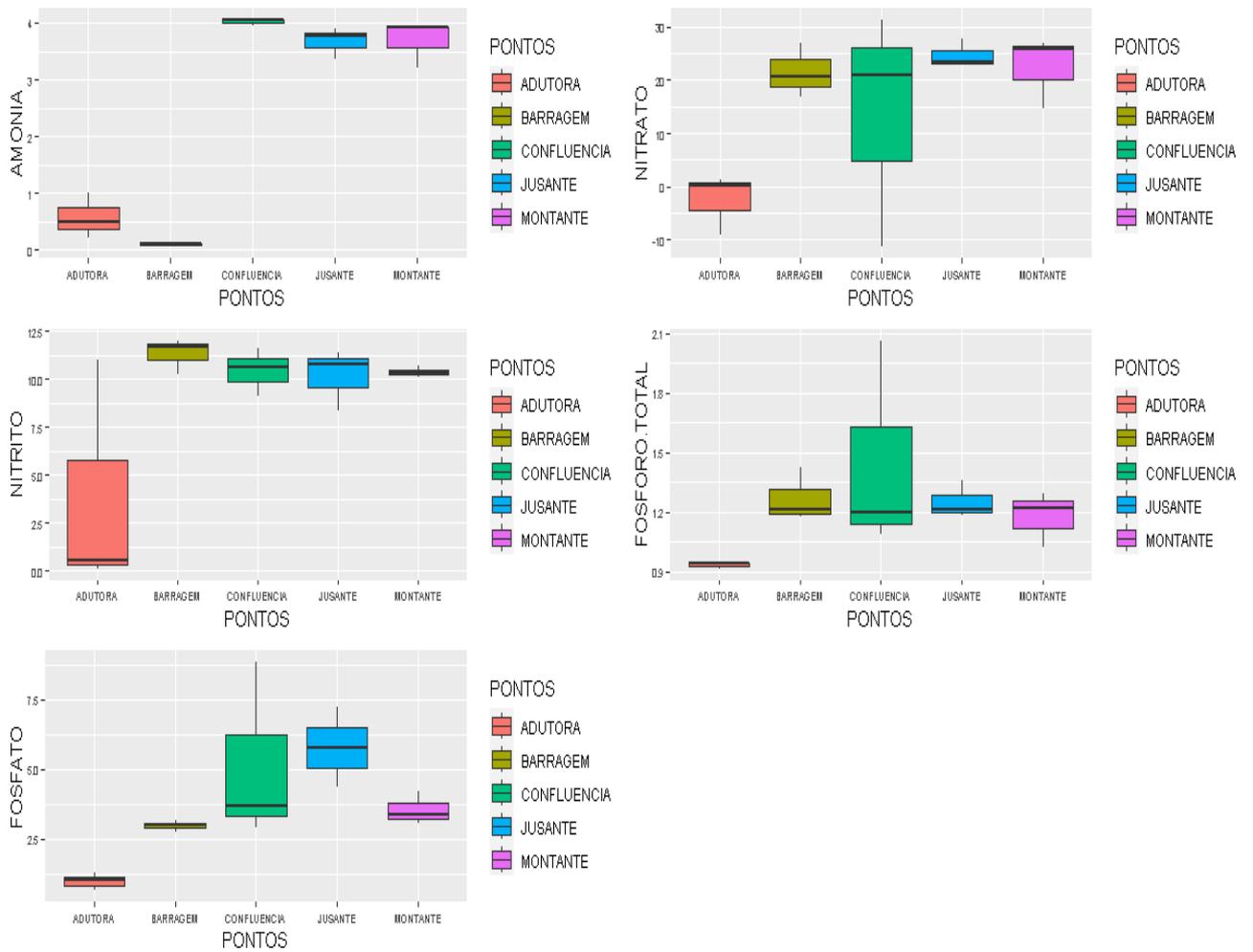
Em relação às concentrações de nitrito, verificou-se situação semelhante, com o ponto Adutora apresentando concentrações de nitrito significativamente inferiores às dos outros pontos amostrais, com valores de $p < 0,001$, revelando o impacto causado pela entrada do Riacho Bodocongó (Fig.17). Diferente da amônia, os outros pontos não apresentaram diferença significativa entre si, revelando que as concentrações de nitrito não conseguiram se autodepurar no trecho entre a confluência e a barragem.

As concentrações de nitrato também apresentaram diferença significativa entre o ponto Adutora, sendo menos elevadas na Adutora (Fig.17), com valor de $p < 0,001$. O ponto Barragem não apresentou diferença significativa com todos os outros.

A confluência com jusante não deu diferença significativa, nem montante com jusante, mas deu B. montante com a confluência ($p = 0,047$). Isso revela que reduz as concentrações no ponto B. Montante, em relação ao ponto confluência, mas depois no local se cria um ambiente que proporciona o crescimento das plantas, piorando a qualidade de água a jusante daí, novamente.

As concentrações de fosfato apresentaram padrão semelhante aos dos compostos nitrogenados, com diferença significativa entre o ponto Adutora e todos os outros, sendo menos elevadas no ponto Adutora (Fig.17). O ponto B. jusante apresentou diferença significativa com Montante e com a Confluência, com $p = 0,032$.

Figura 18. Variação dos parâmetros físicos e químicos em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana, Paraíba, Janeiro, 2023.

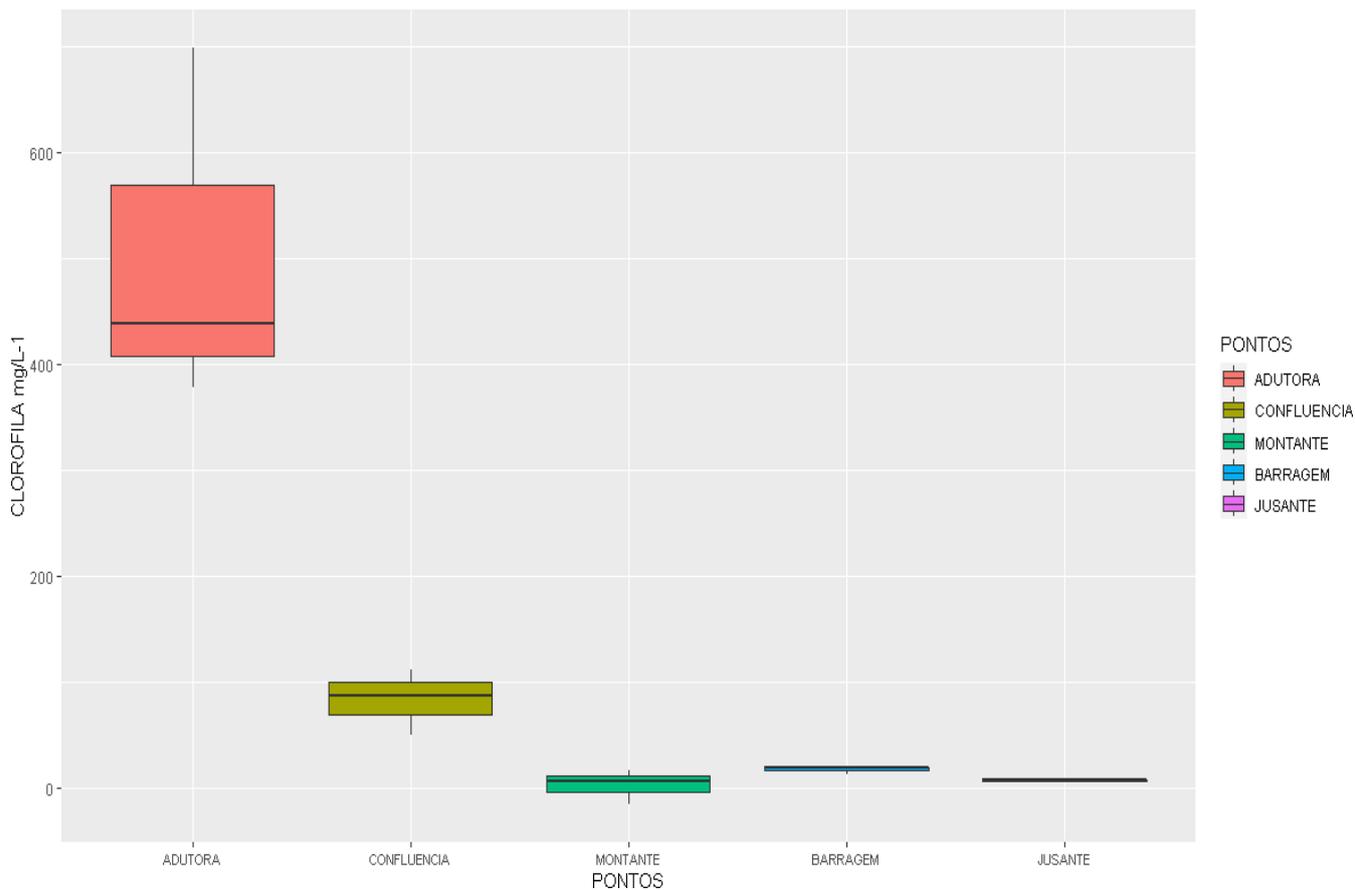


Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Em janeiro, as concentrações de clorofila-*a* apresentaram valores mais elevados na adutora, com o valor máximo de $504,61 \mu\text{g.L}^{-1}$ no mês de janeiro. O aumento da concentração de clorofila-*a* nesse ponto, poderá estar relacionado com algo nesse ponto, como a proximidade de algum pequeno barramento a montante, que possa estar favorecendo o crescimento das microalgas, visto que os nutrientes não foram mais elevados que os outros pontos.

Analisando estatisticamente verificou-se diferença significativa entre a Adutora e todos os pontos analisados com valor de $p < 0,001$, sendo as concentrações mais elevadas na Adutora.

Figura 19. Concentração de clorofila-*a* do Rio Paraíba no Médio Rio Paraíba, no trecho Barra de Santana, Paraíba, Brasil, Janeiro, 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Março 2023

As concentrações de oxigênio dissolvido foram mais elevadas na parte mais a jusante da área analisada, sendo as maiores concentrações registradas no ponto Adutora na Confluência (Fig.19). Na região da barragem as concentrações foram menos elevadas, a presença de vegetação nesse trecho pode ter causado essa redução. As plantas ao decomporem levam ao aumento de bactérias decompositoras que são aeróbias e consomem muito oxigênio (ANDRADE, 2017).

Analisando estatisticamente as análises mostraram que houve diferença estatística entre a Adutora e Montante, Barragem e Jusante, com valores de $p < 0,05$ e $< 0,001$, respectivamente.

As temperaturas semelhantes ao mês de janeiro foram mais baixas na Adutora, variando de 26 a 27,03° C, mas neste mês a Barragem apresentou valor de temperatura semelhante à Adutora, os outros pontos apresentaram temperaturas um pouco mais

elevadas de 26,5 a 29,83°C. Não se verificaram diferenças significativas entre os valores de temperatura, no trecho do Rio Paraíba analisado.

Os valores de pH apresentaram-se mais elevados na Confluência, com valores entre 7,8 e 8,0, enquanto que nos outros pontos estiveram mais perto de 7,0, mas ainda alcalinos (Fig.19). O fato de ter mais microalgas neste ponto (Fig. 21), pode ter influenciado os valores de pH, visto que as plantas absorvem CO₂ nos processos de fotossíntese, elevando o mesmo a valores mais alcalinos, apesar da presença . As análises estatísticas revelaram diferença significativa entre a Confluência e todos os outros pontos amostrais, com $p < 0,001$ com a Barragem e Jusante, e $p < 0,05$ com a Adutora e Montante.

O mesmo foi registrado para a condutividade elétrica, que apresentou valores mais elevados na Confluência e depois baixou a jusante. No mês de março como teve maior precipitação, maior diluição dos compostos químicos e maior fluxo do rio, o impacto foi mais localizado no trecho da junção dos dois rios, diferentemente do mês de janeiro, em que os impactos foram sentidos até à barragem. O maior fluxo do rio auxiliou na homogeneização do mesmo a partir da confluência.

Os valores de condutividade elétrica foram mais elevados que em janeiro, sendo na maior parte dos pontos perto de 2000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, enquanto na Confluência chegou a cerca de 2600 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Fig. 19). Mais uma vez, os valores do Rio Paraíba já são elevados por drenar uma área de semiárido, com solos alcalinos (CARVALHO et al., 2009) mas aumenta a condutividade após receber o Riacho Bodocongó, que recebe esgotos não tratados na cidade de Campina Grande. A decomposição da matéria orgânica libera sais minerais para a água, aumentando a condutividade (ANDRADE et al., 2014).

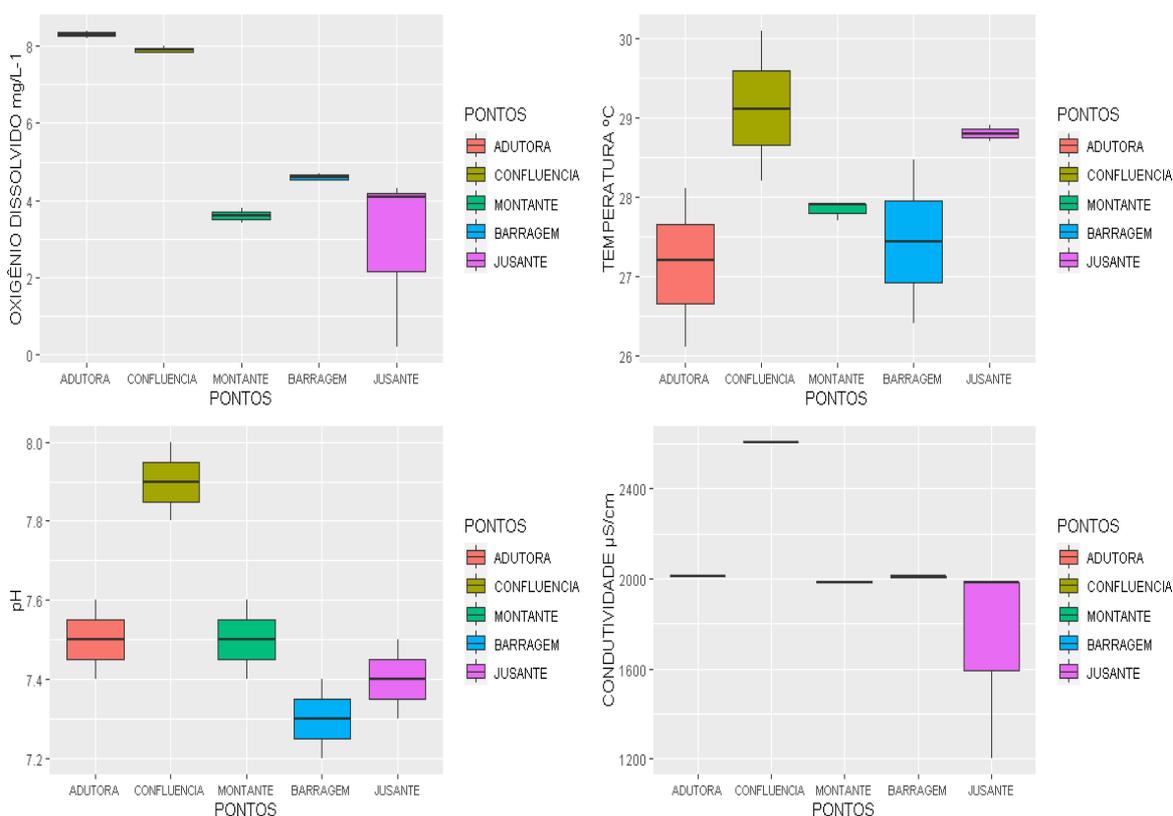
Em março, devido à maior taxa de precipitação e com o maior fluxo do rio, pela maior entrada de água as concentrações de amônia apenas se apresentaram diferentes significativamente entre o ponto Confluência e todos os outros, sendo as concentrações mais elevadas na Confluência (Fig.20), demonstrando o quanto o Rio Paraíba perdeu qualidade com a entrada do Riacho Bodocongó. No entanto, diferente do registrado no mês de janeiro, o impacto foi mais localizado, e o rio apresentou maior capacidade de autodepuração em direção à Barragem do Feijão. Por receber muitos esgotos não tratados, a decomposição da matéria orgânica libera amônia, que é tóxica e deve ser evitada em ambientes aquáticos. Valores mais elevados de amônia indicam rios mais poluídos. No entanto, neste mês, pelo efeito diluidor da chuva, as concentrações de

amônia variaram entre $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$ (Adutora) e perto de $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$ (Confluência), inferiores comparando com o mês analisado anteriormente.

As concentrações de nitrito não ultrapassaram $1,52 \text{ mg.L}^{-1}$ em todos os pontos amostrais e apresentaram concentrações entre $0,36$ e $1,52 \text{ mg.L}^{-1}$ na Confluência (Fig.20). A análise estatística revelou diferença significativa entre a Confluência e todos os pontos analisados, com valor de $p < 0,001$.

As concentrações de nitrato variaram de perto de $0,45 \text{ mg.L}^{-1}$ na Adutora a perto de $6,20 \text{ mg.L}^{-1}$ na Barragem (Fig.20), mas não apresentaram diferença significativa entre os pontos amostrais no mês de março. Comparando com o mês de janeiro, as concentrações neste mês não ultrapassaram $2,46 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo portanto mais elevadas no mês de março.

Figura 20. Variação dos parâmetros químicos e físicos em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana, Paraíba, Março, 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Fonte: Dados da pesquisa

Como o nitrato é a forma final do processo de nitrificação, e depende do oxigênio para a transformação de amônia para nitrato, quanto mais oxigenado o ambiente, mais elevadas tendem a ser as concentrações de nitrato. Oliveira (2020)

quando realizou um trabalho de despoluição no Rio do Cabelo, também verificou que após a implantação do sistema de biorremediação as águas menos poluídas passaram a ter concentrações mais elevadas de nitrato, devido às maiores concentrações de oxigênio.

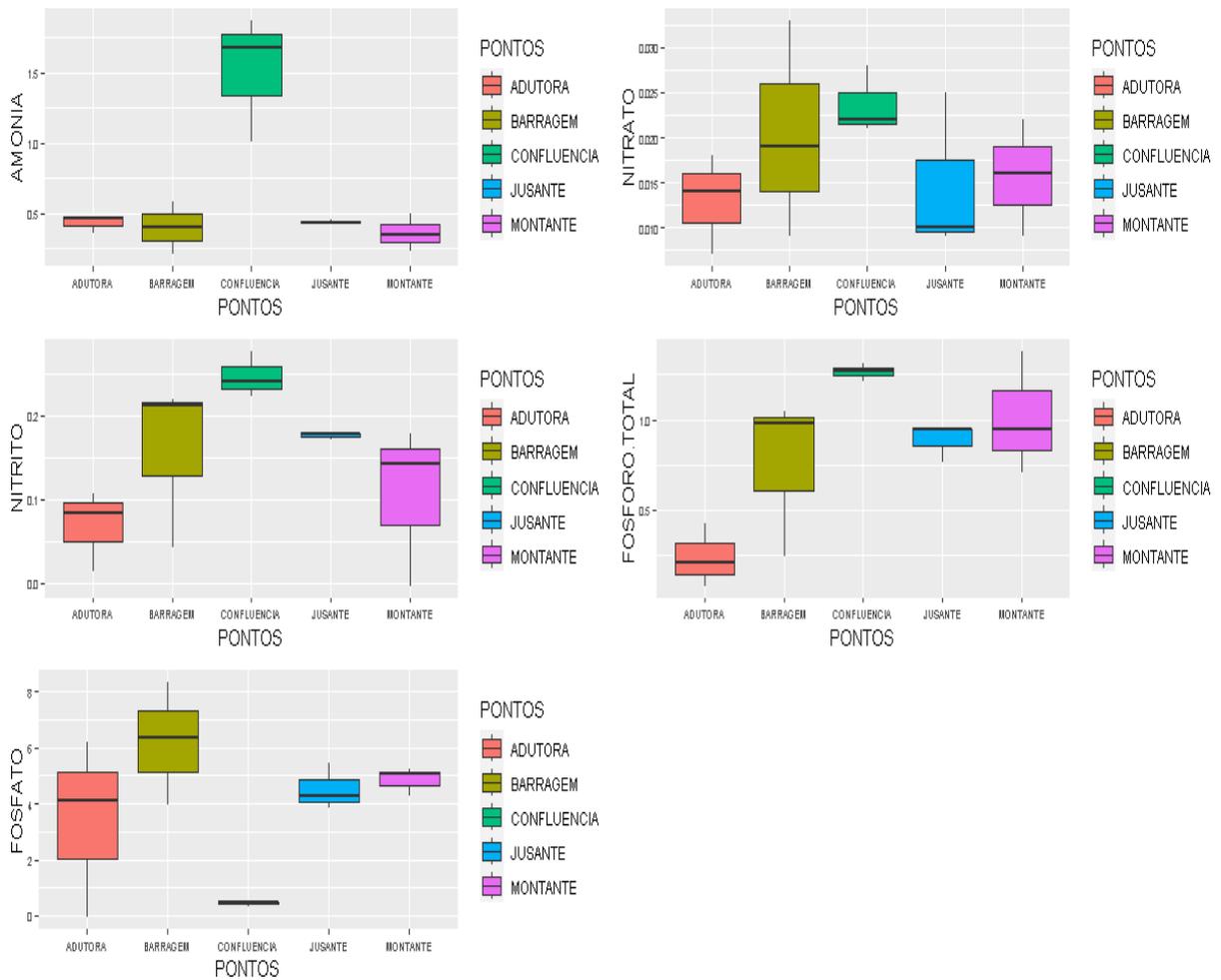
As concentrações de orfosfato variaram entre perto de 0,40 e 6,20 mg.L⁻¹ e só apresentaram diferenças significativas entre o ponto Confluência e a Barragem, com valor de $p=0,018$, sendo menores na confluência (Fig.20), Com o aumento das chuvas em março, e a maior quantidade de água drenada por toda a região, o ponto adutora já tinha fosfato em concentrações elevadas, ao contrário do ponto Confluência que as apresentou baixas, no entanto, concentrações elevadas se mantiveram nos pontos a jusante, na barragem.

As concentrações de fósforo total variaram entre 0,20 e 1,20 mg.L⁻¹, sendo inferiores às registradas em janeiro que alcançaram valores entre 0,94 e 1,44 mg.L⁻¹. As análises estatísticas só revelaram diferença significativa entre a Adutora e todos os outros pontos, com exceção da barragem, sendo as concentrações de fósforo total inferiores no ponto Adutora. Mais uma vez os dados mostram o impacto do Riacho Bodocongó, que se manteve até à Barragem, mesmo numa situação de maior precipitação e com mais água no rio.

As concentrações de clorofila-*a* foram muito menos elevadas em março, não ultrapassando 50 µg.mL⁻¹(Fig. 21), o início das chuvas devem ter feito o Açude Bodocongó sangrar, o que aumentou a presença de algas no Rio Paraíba, após a Confluência em janeiro, efeito não mais sentido em março, até porque se verificou um aumento nas taxas de precipitação de janeiro para fevereiro e março. O fato de manter concentrações mais elevadas na Confluência é devido à maior quantidade de nutrientes neste ponto amostral, carreados pelo Riacho Bodocongó.

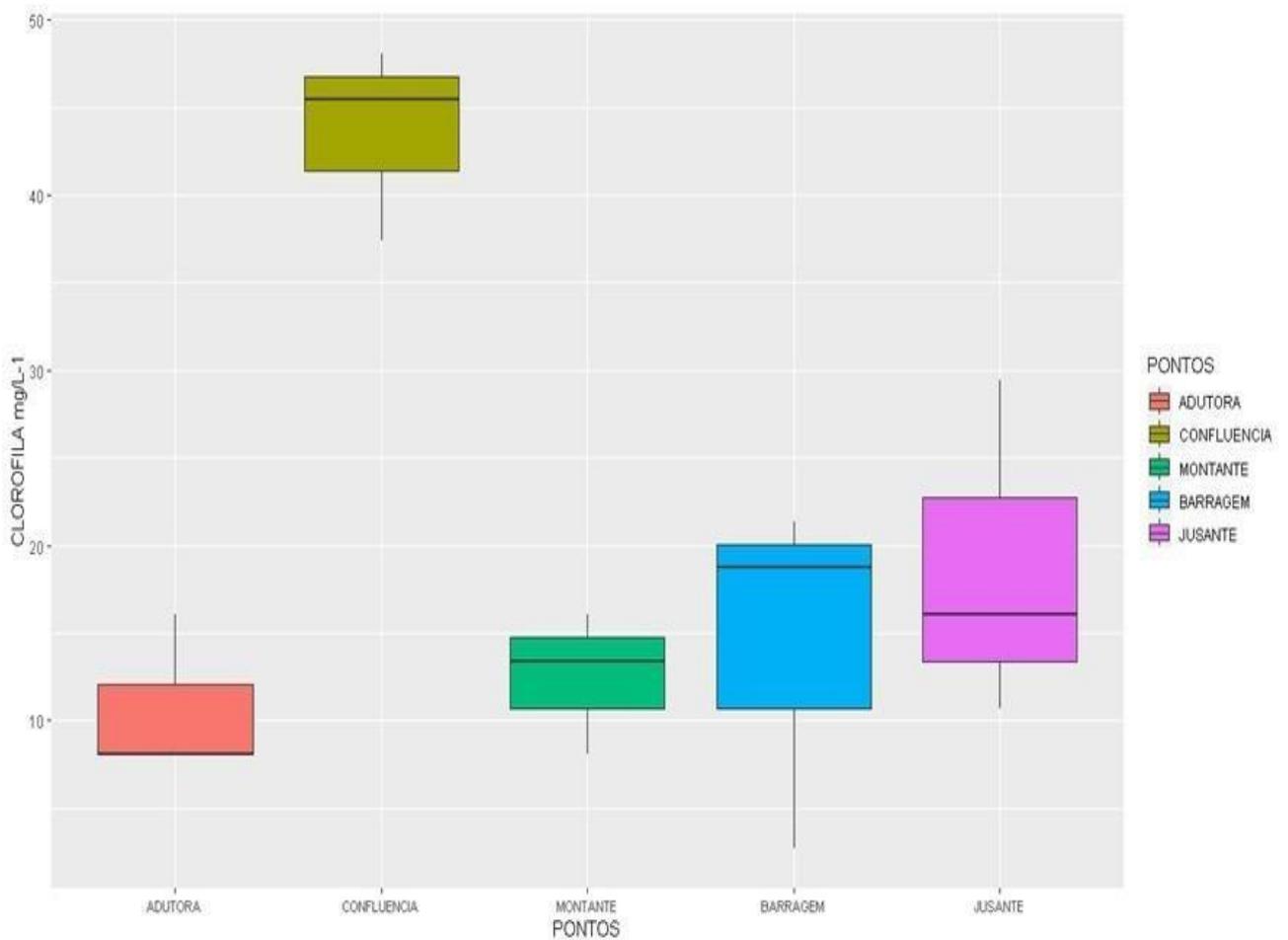
As análises estatísticas revelaram apenas diferenças significativas entre a Confluência e os outros pontos. Da mesma forma que para outros parâmetros as concentrações não retornam a valores iguais aos de antes da entrada do Riacho Bodocongó, embora tenham reduzido bastante comparando com a Confluência.

Figura 21. Variação dos parâmetros químicos em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana, Paraíba, Março, 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Figura 22. Concentração de clorofila-*a* do Rio Paraíba no Médio Rio Paraíba, no trecho Barra de Santana, Paraíba, Brasil, Março, 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Abril 2023

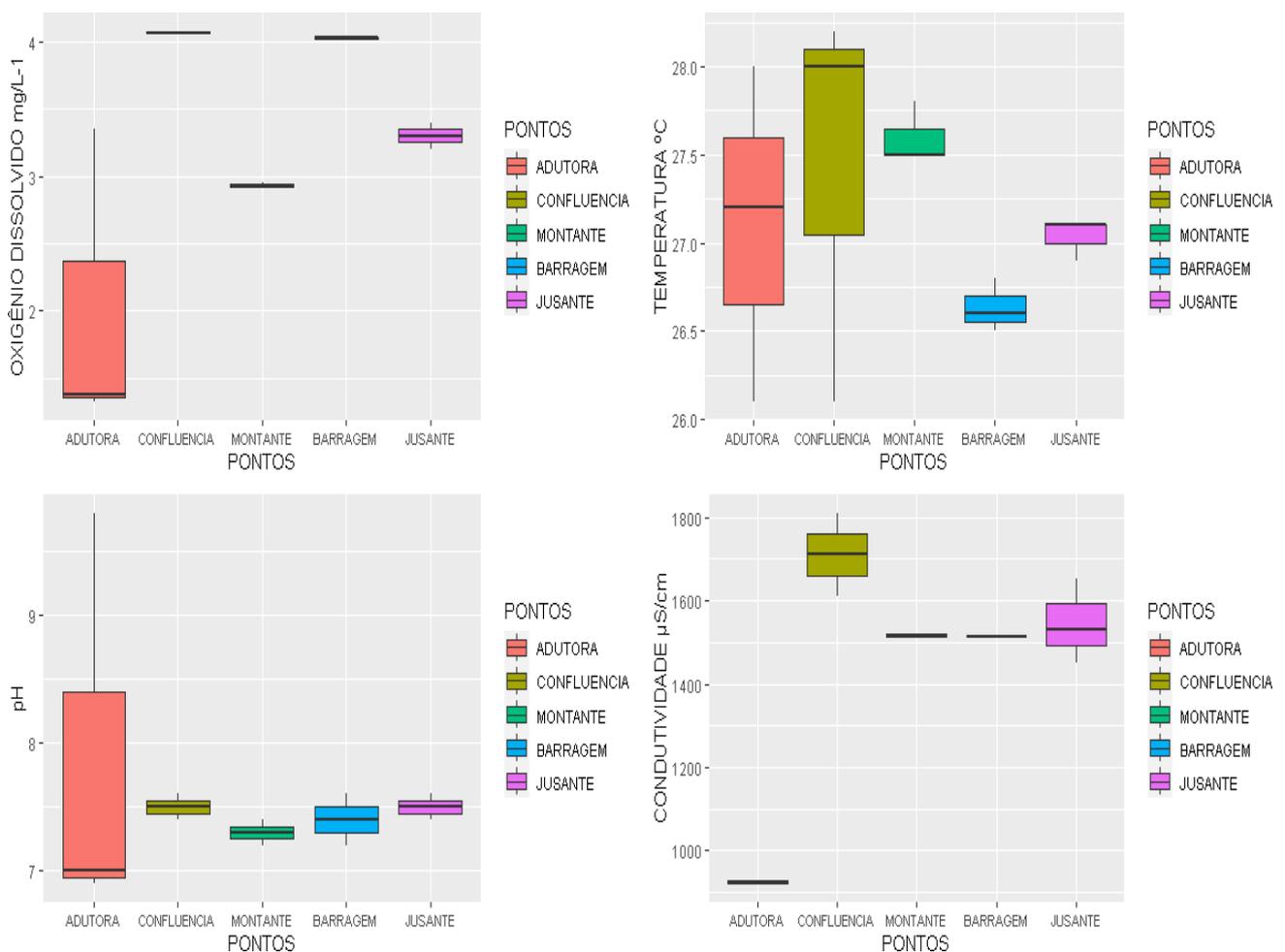
Em abril as concentrações de Oxigênio estiveram mais baixas que nos meses anteriores, tendo como valor máximo 4,06 na confluência e na barragem (Fig. 22). Lembrando que em abril houve menor precipitação e com isso menor diluição dos nutrientes do rio, a carga orgânica originada do esgoto não tratado de parte da cidade de Campina Grande, aumenta as taxas de decomposição, aumentando consequentemente os decompositores e logo o consumo de oxigênio. As concentrações mais baixas de oxigênio foram registradas na Adutora, revelando que o rio já chega com impacto nesse trecho, aqui os valores oscilaram entre 1,35 e 2,9. B. Montante apresentou uma queda nos valores de oxigênio, provavelmente pela presença de plantas, que a sua decomposição eleva o consumo dos decompositores, reduzindo o oxigênio na água.

As análises estatísticas revelaram apenas diferenças significativas entre a Adutora e a Barragem e Confluência, com valor de $p < 0,05$.

As temperaturas oscilaram entre 26 e 28°C, com as temperaturas mais elevadas na Confluência, mais uma vez após o impacto do Riacho Bodocongó, os valores voltam a ser semelhantes aos da Adutora, revelando um impacto mais localizado. A temperatura não apresentou diferenças significativas entre os pontos analisados.

Os valores de pH oscilaram entre 6,9 e mais de 7,5, sendo a maior variação, e apresentando os valores máximos e mínimos no ponto Adutora (Fig. 22). Os outros pontos apresentaram valores mais semelhantes entre 7 e 7,5, não sendo registradas diferenças significativas entre os pontos analisados.

Figura 23. Variação dos parâmetros Físicos e Químicos em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana, Paraíba, Abril 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

A condutividade elétrica mais uma vez foi drasticamente alterada após a confluência com os dois rios, passando de cerca de 900 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, na Adutora, para cerca

de $1700 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Fig. 22) após receber as águas do Riacho Bodocongó. Da mesma forma que em meses anteriores, após o impacto o rio não voltou a apresentar valores de condutividade semelhante aos de a montante da confluência.

As análises estatísticas revelaram diferenças significativas entre a Adutora e todos os pontos amostrais, com $p < 0,001$ e da Confluência com todos os pontos, com $p < 0,05$.

Em abril de 2023 as concentrações de amônia estiveram entre $0,3$ e $1,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e foram mais elevadas na Barragem e a montante. Lembrando que nestes dois pontos há a presença de mais plantas que nos outros pontos, o que pode ser o motivo da liberação de amônia, que revela decomposição recente (SOUZA ; GASTALDINI, 2014).

Analisando estatisticamente verificam-se diferenças significativas entre a Adutora e a Barragem e a Adutora e Montante com valores de $p = 0,008$ e $0,001$, respectivamente. As concentrações foram menos elevadas na Adutora. Também se registraram diferenças significativas entre a Barragem e a Confluência e Barragem e Jusante, sendo as concentrações mais elevadas na Barragem, com $p = 0,011$ e $0,009$, respectivamente. O ponto Montante também apresentou diferença significativa com a Confluência e Jusante, com $p = 0,001$ em ambos (Fig. 22), sendo mais elevadas as concentrações a Montante.

As concentrações de nitrato variaram entre $3,4$ e $10,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e registrou-se diferença significativa entre a Adutora e a Confluência e Adutora e Montante, com valor de $p = 0,045$ e $0,006$, respectivamente, com concentrações menos elevadas na Confluência e mais elevadas a Montante (Fig. 22). O ponto Montante também apresentou diferenças significativas com todos os outros pontos amostrais, com as concentrações mais elevadas em Montante com valor de $p < 0,05$.

As concentrações de nitrito estiveram baixas na maioria dos pontos amostrais, entre 5 e $7,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, mas no ponto Montante estas concentrações apresentaram valores muito mais elevados, com valores acima de $15,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Fig. 22). Lembrando que este composto é tóxico e não é desejável estar presente no ambiente. Analisando estatisticamente, só se registraram diferenças significativas entre os pontos confluência e jusante com valor de $p = 0,008$.

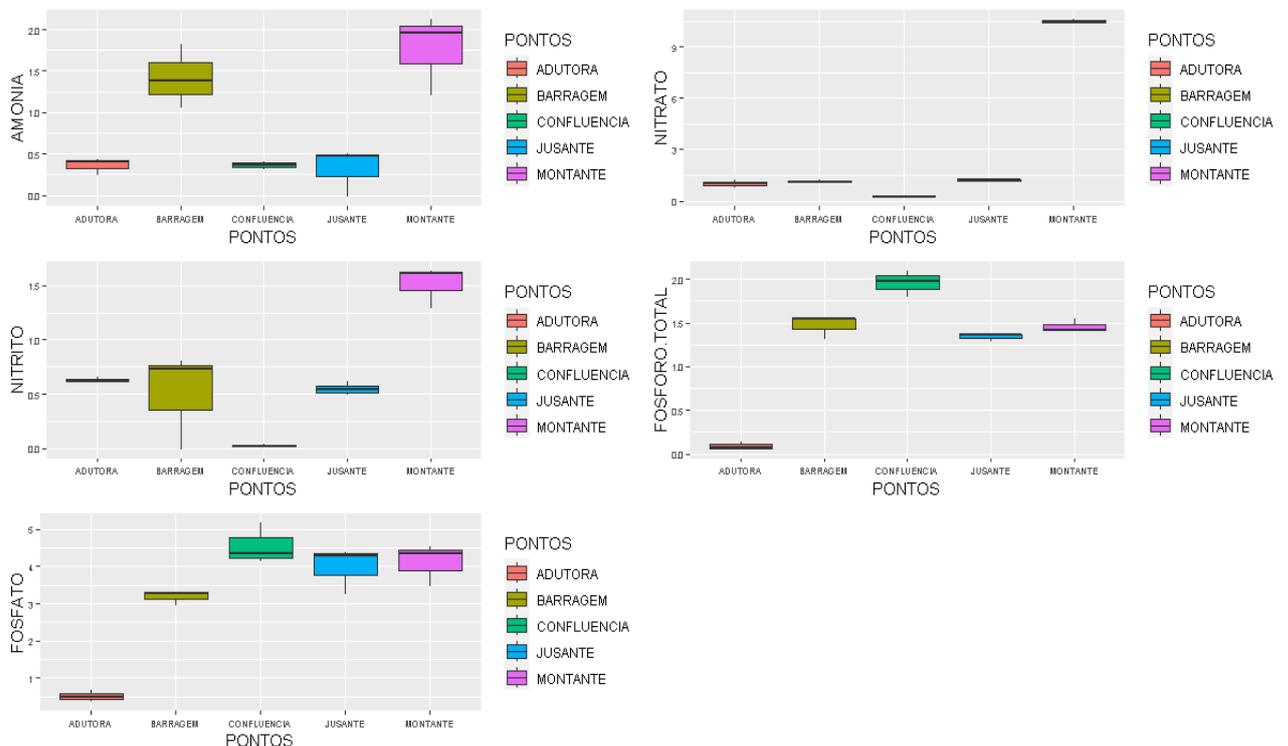
As concentrações de fosfato variaram entre $0,44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na adutora, e $6,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na Confluência. No mês anterior, março, com mais precipitação, as concentrações de fosfato foram mais elevadas. Maior precipitação traz mais água de drenagem de solo, muitas vezes rico em nutrientes devido à presença de esgoto e adubo (COSTA, 2011).

Neste mês de abril as concentrações foram semelhantes às de janeiro, com menor precipitação, embora os valores mínimos e máximos não tenham sido muito diferentes entre os meses analisados.

Analisando estatisticamente registraram-se diferenças significativas entre a Adutora e todos os pontos amostrais, sendo as concentrações menos elevadas na Adutora, com valores de $p < 0,001$ e entre a Confluência e a Barragem com valor de $p = 0,029$, sendo mais elevada a concentração na Confluência. Mais uma vez se confirma o impacto negativo do Riacho Bodocongó no Rio Paraíba, que após receber as águas drenadas por Campina Grande, não consegue mais voltar às condições ambientais do ponto Adutora.

O fósforo total apresentou um padrão semelhante, com concentrações menos elevadas na Adutora e mais elevadas a jusante, após receber as águas do Riacho Bodocongó. Estatisticamente verificaram-se diferenças significativas entre a Adutora e todos os outros pontos, com $p < 0,001$, e a Confluência com Barragem, Montante e Jusante, com valores de $p < 0,001$. Isso demonstra que a água no ponto Adutora é melhor que nos outros pontos e que na Confluência é pior que em todos os outros.

Figura 24. Variação dos Parâmetros Físicos e Químicos em trecho do Médio Rio Paraíba, Barra de Santana, Paraíba, Abril 2023.

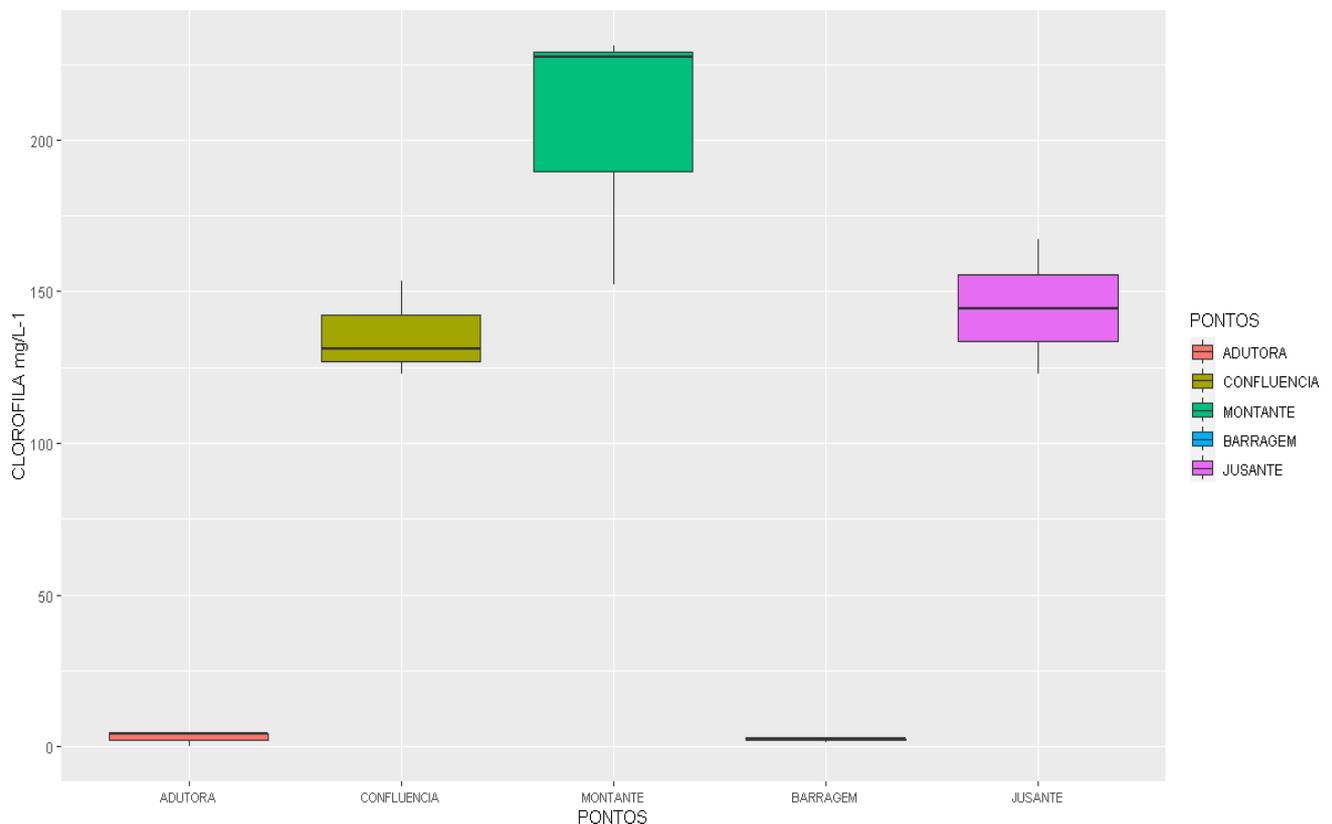


Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

As concentrações de clorofila *-a* no mês de abril de 2023, aumentaram bastante a partir da Confluência, passando de concentrações de cerca de 0,0 na Adutora, para 120,0 a 150,0 mg.L⁻¹ na Confluência (Fig. 24). A montante as concentrações de clorofila *-a* aumentaram ainda mais, e na Barragem reduziram para valores semelhantes aos da Adutora. Por ter muitas plantas, há sombreamento o que pode não beneficiar o fotoplâncton neste local.

Analisando estatisticamente verifica-se que a Adutora e a Barragem apresentaram diferença significativa com todos os pontos com exceção da outra, com $p < 0,001$, sendo as menores concentrações na Adutora e Barragem e que Montante também apresentou diferença com a Confluência, com $p = 0,039$ sendo as maiores concentrações de clorofila- *a* em Montante.

Figura 25. Variação da clorofila-a em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana, Abril 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA

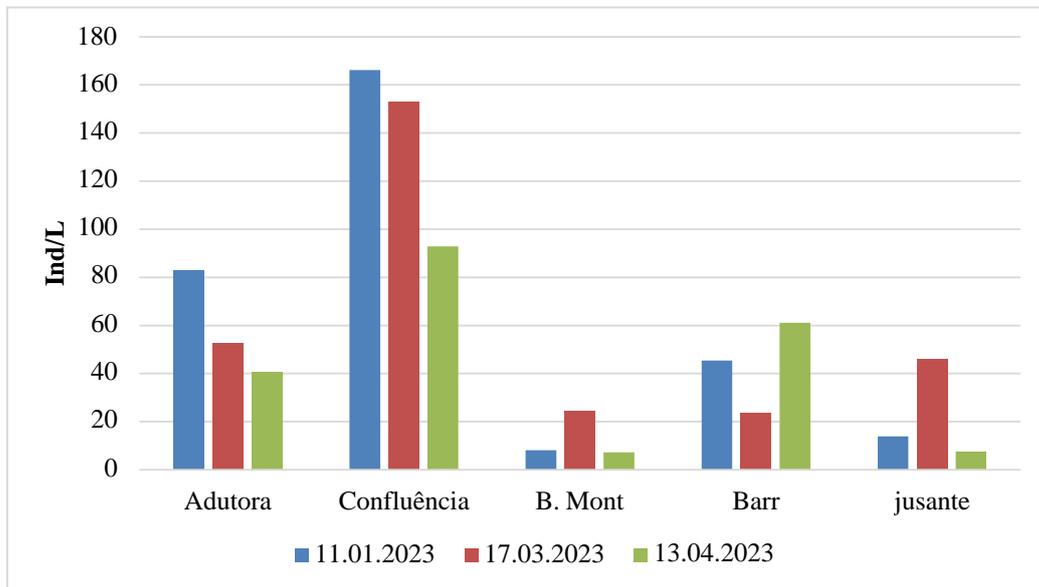
As densidades de zooplâncton total variaram entre as estações amostrais e entre os meses, sendo sempre mais elevadas no ponto da Confluência. Isso demonstra o quanto o Rio Paraíba perde qualidade quando recebe o afluente Riacho Bodocongó. Este Riacho corta a cidade de Campina Grande recebendo uma grande quantidade de esgotos não tratados, e ainda tem uma parte represada no Açude Bodocongó, que recebe e acumula nutrientes, visto que ambientes lânticos, como açudes, têm maior tendência de aumentar o estado trófico que ambientes lóticos, como os rios (BARBOSA et al., 2012), isso favorece o aumento das densidades planctônicas. O zooplâncton é produtor secundário e depende diretamente da produção primária, logo quando aumenta a produção primária, em consequência do aumento de nutrientes (poluição orgânica) esta comunidade é beneficiada com o aumento de densidades, principalmente de espécies ou grupos resistentes à eutrofização (SOUSA, 2007).

Verifica-se que no ponto confluência registrou-se um decréscimo contínuo nas densidades totais médias do zooplâncton, isso pode ser devido ao período chuvoso, que iniciou em janeiro, com aumento de chuvas até março e diminuiu a precipitação em abril. O Açude Bodocongó deve ter sangrado no início das chuvas, enviando muito zooplâncton para o Riacho Bodocongó, chegando ao Rio Paraíba, e diminuindo a partir daí, pelo efeito diluidor da chuva, que melhorou a qualidade de água, tanto no Açude, quando no rio.

Verifica-se pelas densidades totais do zooplâncton que a qualidade ambiental do Rio Paraíba era melhor no Ponto Adutora, mas que perde qualidade ao receber as águas do Riacho Bodocongó, corroborando com os dados da química, mas entre o ponto Confluência e a Barragem Curimatã há uma capacidade de auto depuração que leva à melhoria da qualidade de água, no entanto, antes da barragem começa a ter a presença de plantas e isso aumenta novamente a densidade do zooplâncton, devido à maior presença de espécies que vivem associadas a substratos, o ticolâncton.

Entre Outros Grupos registrados estão Ostracoda, Larva de insetos, Protozoa, Foraminifera e Nematoda, mas todos com densidades muito baixas, sendo assim, não serão apresentados individualizados, visto não haver muita diferença entre pontos e datas, mas esses grupos estiveram presentes no zooplâncton analisado.

Figura 26 - Densidades do zooplâncton total, em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB meses Janeiro, Março e Abri de 2023.



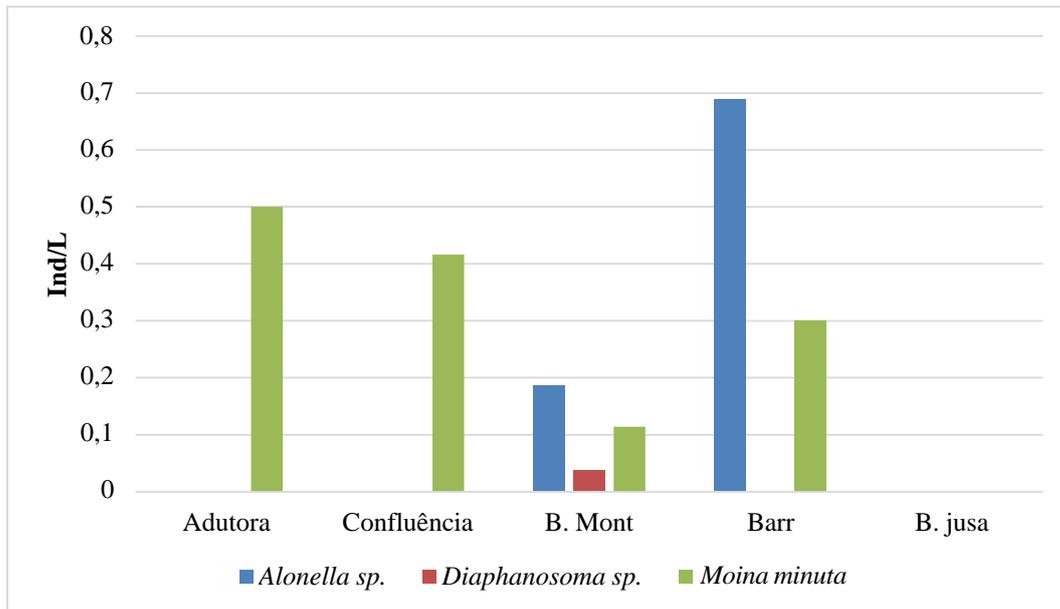
Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Janeiro de 2023

Os Cladocera apresentaram baixas densidades e apenas 3 espécies em Janeiro de 2023 (*Alonella* sp. *Diaphanosoma* sp. e *Moina minuta*). A maior densidade foi obtida por *Alonella* sp no ponto da barragem, mas inferior a 0,7 ind.L⁻¹. Esta espécie é mais associada com vegetação e por ter esse ponto bastantes macrófitas a mesma foi favorecida. *Moina minuta* foi a espécie mais frequente, sendo registrada em todos os pontos amostrais variando de cerca de 0,1 ind.L⁻¹ (Barragem montante) a 0,5 Ind.L⁻¹ (Adutora).

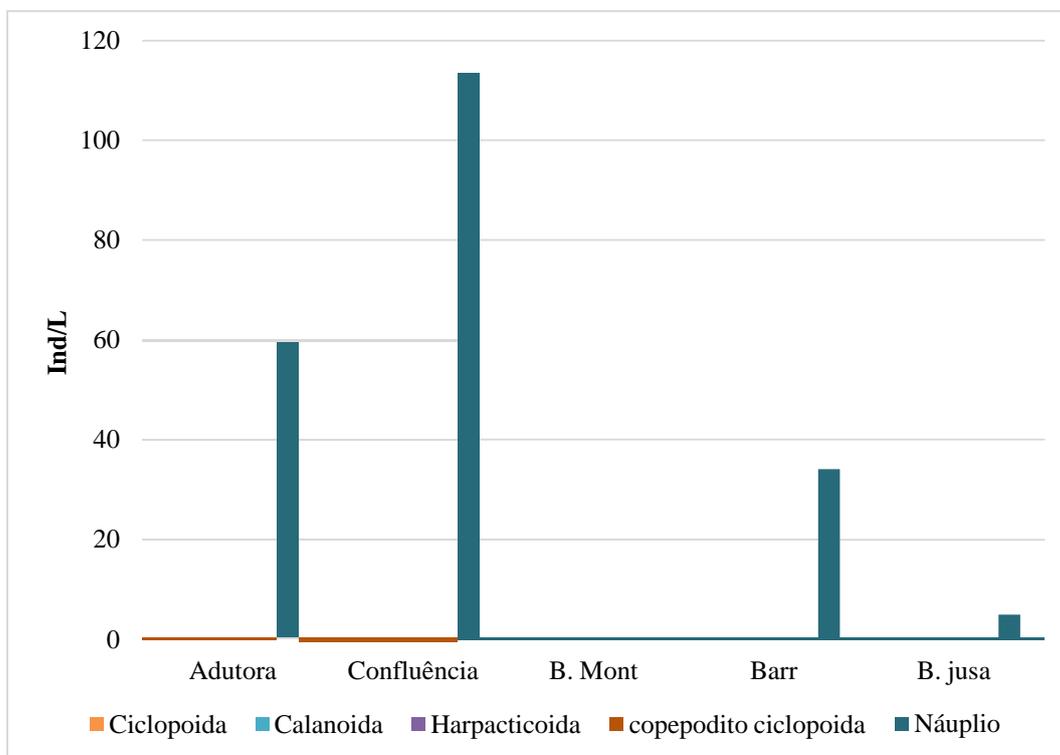
Os Copepoda apresentaram densidades muito mais elevadas, sendo representados por 3 Ordens: Calanoida, Cyclopoida e Harpacticoida. As formas naupliares foram as que apresentaram densidades mais elevadas, principalmente no ponto Confluência. Formas naupliares de Copepoda são mais abundantes na presença de águas mais eutrofizadas, demonstrando o impacto da entrada do Riacho Bodocongó no Rio Paraíba (BARBOSA et al., 2012).

Figura 27 - Densidades dos grupos de Cladocera, em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB mês Janeiro, de 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Figura 28. Densidades das espécies de Copepoda, em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB mes Janeiro de 2023.



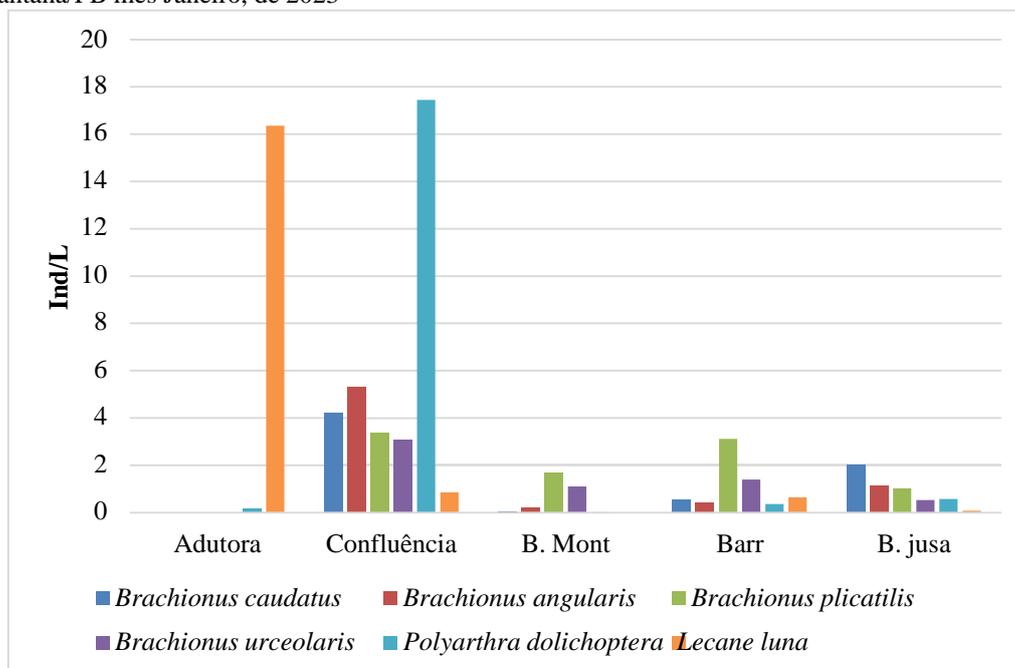
Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Entre os Rotifera foram registradas 28 espécies, tendo *Polyarthra dolicoptera* e *Lecane luna* como as mais abundantes (Fig. 28), presentes no Ponto Confluência e Adutora, respectivamente. Esta última espécie vive associada a substratos na água (SOUSA, 2007), e neste ponto também há a presença de plantas aquáticas, o que serve de substrato para esta espécie .

Os Rotifera são bons indicadores de qualidade ambiental, e corroborando com os dados de Copepoda, demonstram que o trecho de pior qualidade é o Ponto da Confluência com o Riacho Bodocongó. Aqui as espécies de Rotifera foram mais abundantes, principalmente as espécies que indicam estados tróficos mais elevados, como as do gênero *Brachionus*. *Brachionus angularis*, *B. urceolaris* e *B. plicatilis* são comuns em ambientes mais poluídos. *B. plicatilis* é uma espécie característica de ambientes mais salinos, mas como a condutividade neste trecho do Rio Paraíba é de cerca de 1600 a 1800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, isso permite a presença de alguns organismos característicos de ambientes estuarinos . Foraminíferos também foram visualizados nas amostras de zooplâncton.

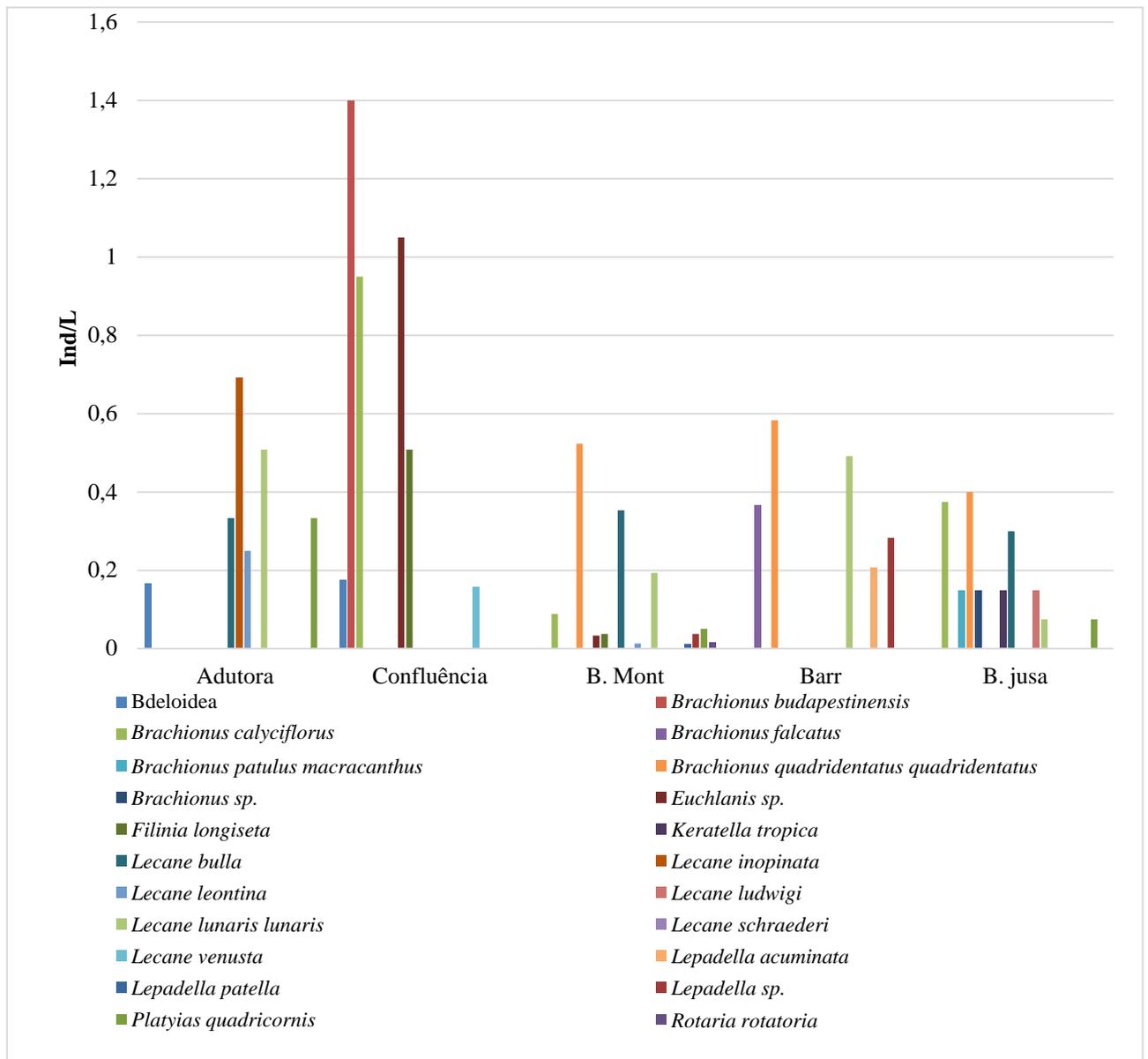
À semelhança dos outros grupos, a água melhora no ponto Barragem Montante, e depois piora ligeiramente, com o aumento dos organismos planctônicos (Figs 29 e 30).

Figura 29- Densidades de espécies de Rotifera mais abundantes, em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB mês Janeiro, de 2023



Fonte: elaborado pela autora: Dados da pesquisa

Figura 30- Densidades de espécies de Rotifera menos abundantes, em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB mês Janeiro, de 2023

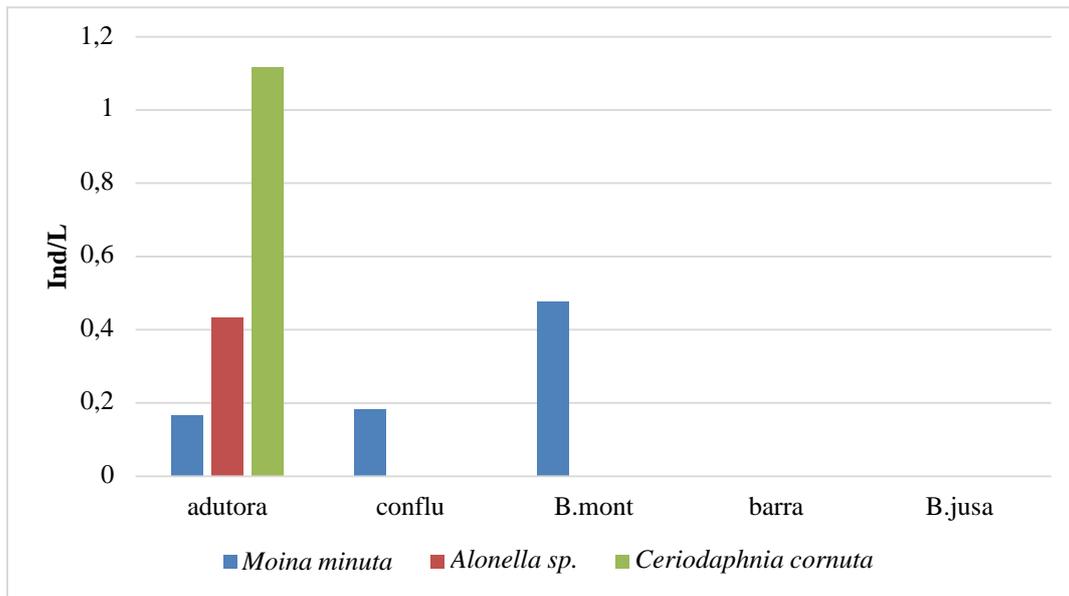


Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Março 2023

Em março de 2023, os Cladocera foram mais abundantes e diversos no Ponto Adutora, estando presentes com 3 espécies *Ceriodaphnia cornuta*, *Alonella sp.* e *Moina minuta*, no entanto as densidades por espécies foi inferior a $1,2 \text{ ind.L}^{-1}$. Cladocera é um grupo mais sensível à qualidade de água, e por isso estão mais presentes onde a qualidade de água é melhor, logo quase não foram registradas na confluência, mas estiveram sem ser observadas também nos Pontos Barragem e Barragem Jusante.

Figura 31 - Densidades das espécies de Cladocera registradas em trecho do médio Rio Paraíba, Barram de Santana/PB, Março de 2023.



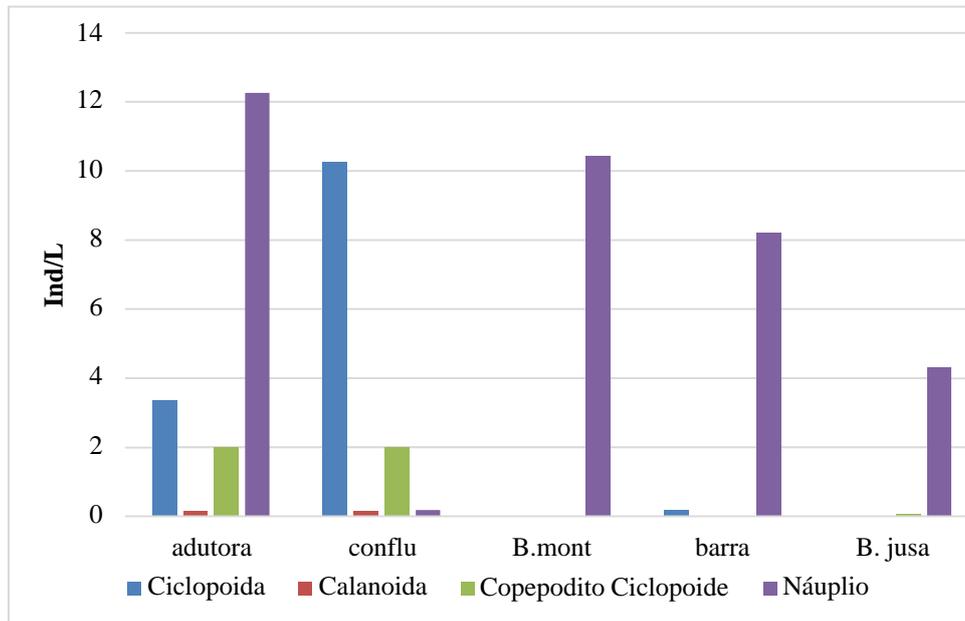
Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Os Copepoda estiveram representados em março apenas por Calanoida e Ciclopoida. As maiores densidades de Náuplios já eram originadas do Rio Paraíba e não do Riacho Bodocongó, visto que já foram abundantes no ponto Adutora, no entanto, pelo riacho entrou uma maior densidade de Copepoda Ciclopoida que é indicador de águas mais poluídas (COELHO-BOTELHO, 2003). A jusante a tendência foi de redução de náuplios e de copépodes ciclopoides, o que indica melhor qualidade de água.

Os Rotifera foram representados por 24 espécies, sendo a mais abundante *B. angularis*, registrada no Ponto Confluência com densidade perto de 100,0 Ind.L⁻¹. Esta espécie é indicadora de águas mais ricas em nutrientes (ARORA,1966). A segunda espécie mais abundante foi *P. dolichoptera*, que atingiu densidade de 32,8 Ind.L⁻¹, também indicadora de águas com estado trófico mais elevado (BEM, et al 2013). A maior parte dos pontos apresentou boa diversidade deste grupo, com exceção do Ponto

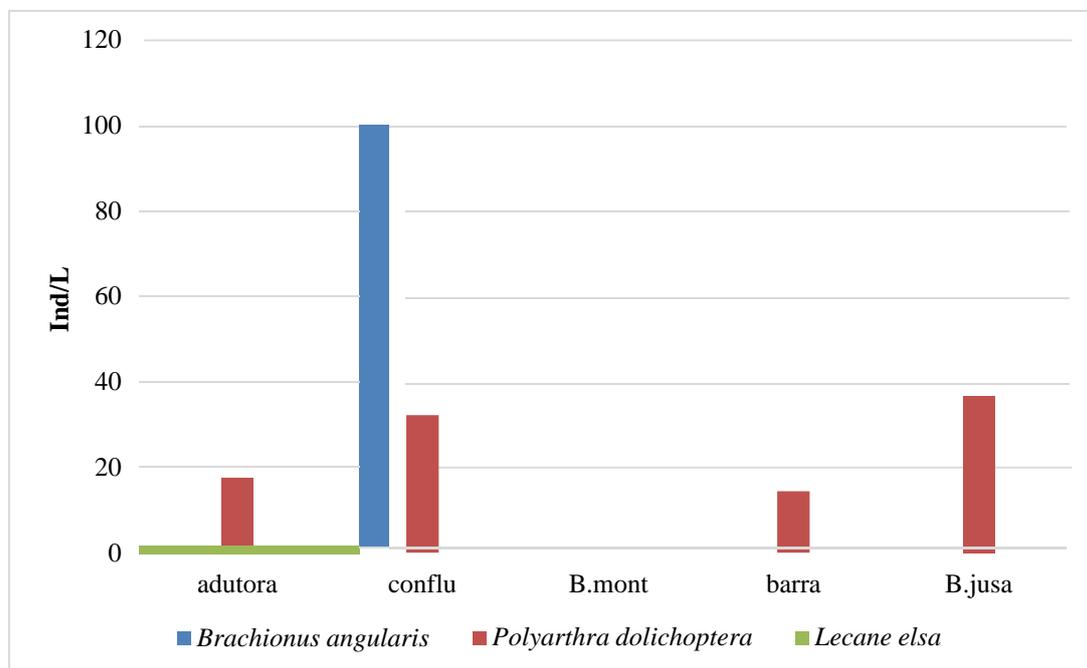
Barragem que apresentou apenas 4 espécies. Os pontos Adutora e Confluência apresentaram maior diversidade, demonstrando que o rio tem melhor qualidade a montante. No entanto, deve-se lembrar que a montante tem a presença de açudes que podem estar transferindo estas espécies para o rio, por sangramento nos barramentos, visto que todos os outros indicadores não demonstram que a Confluência tenha melhor qualidade de água.

Figura 32- Densidades das espécies de Copepoda registradas no Rio Paraíba, em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB mês Março de 2023.



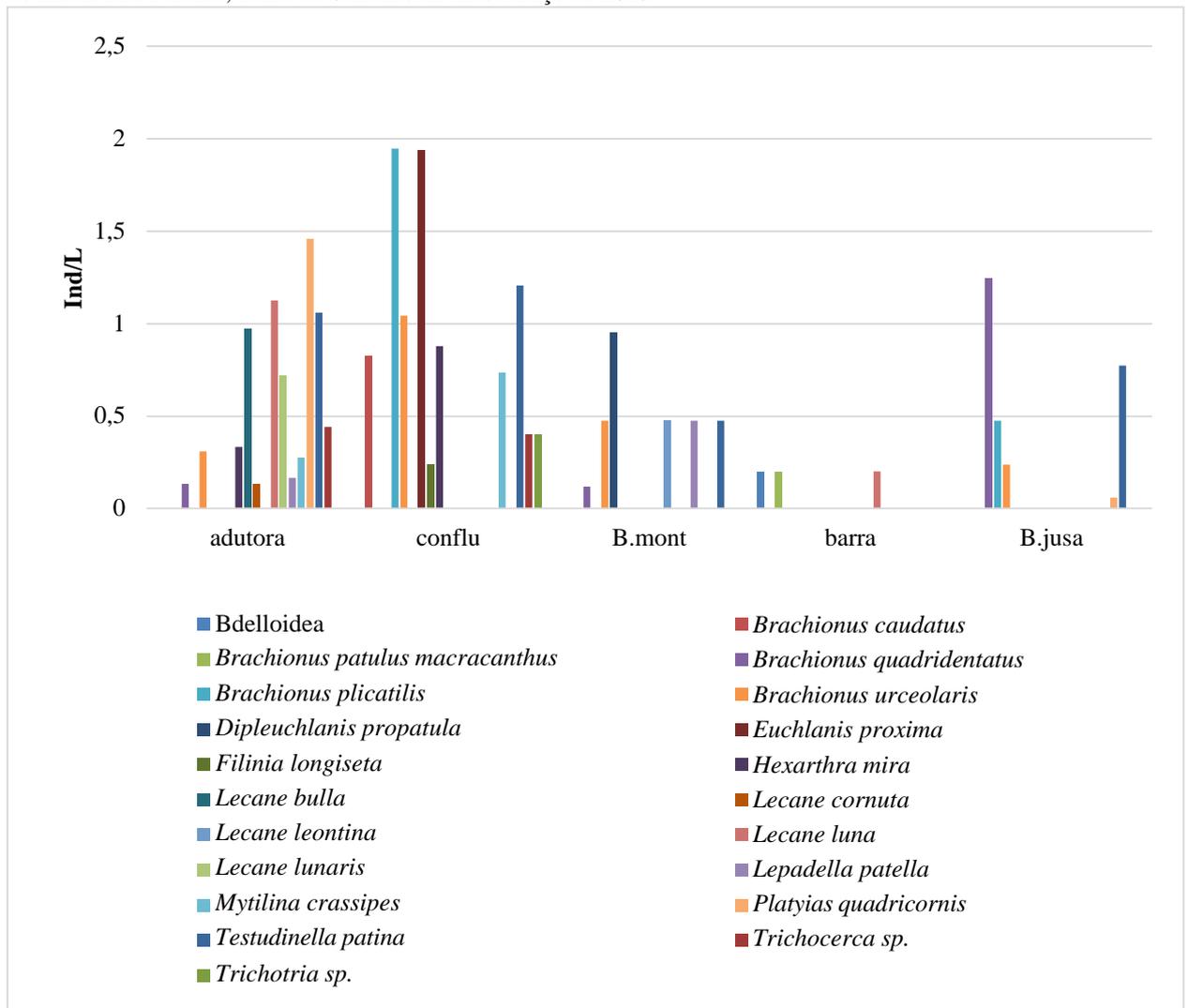
Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Figura 33- Densidades das espécies de Rotifera mais abundantes, registradas no Rio Paraíba, em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB mês Março de 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Figura 34- Densidades das espécies de Rotifera menos abundantes, registradas no Rio Paraíba, entrecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB mês Março de 2023.

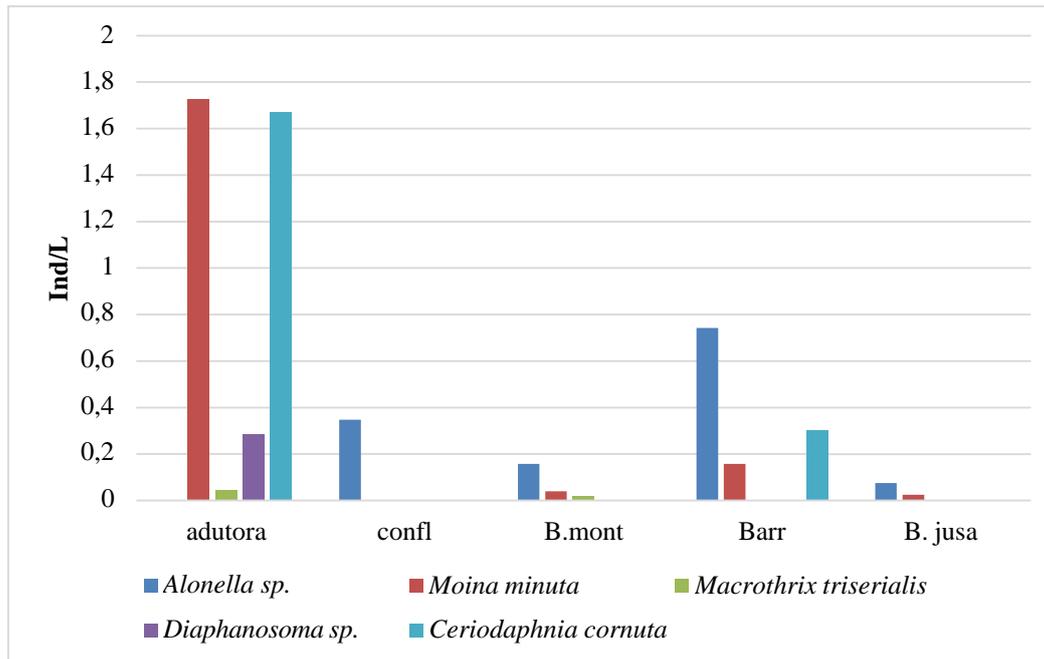


Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Abril 2023

Em abril a chuva reduziu e foram registradas mais espécies de Cladocera no Rio Paraíba, sendo estas *Alonella sp.*, *Ceriodaphnia cornuta*, *Diaphanosoma sp.*, *Macrothrix triserialis* e *M. minuta*. O ponto que apresentou maior densidade e diversidade foi a Adutora, com quatro espécies presentes. No Ponto Confluência apenas *C. cornuta* esteve presente.

Figura 35 - Densidades das espécies de Cladocera registradas em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB, Abril de 2023



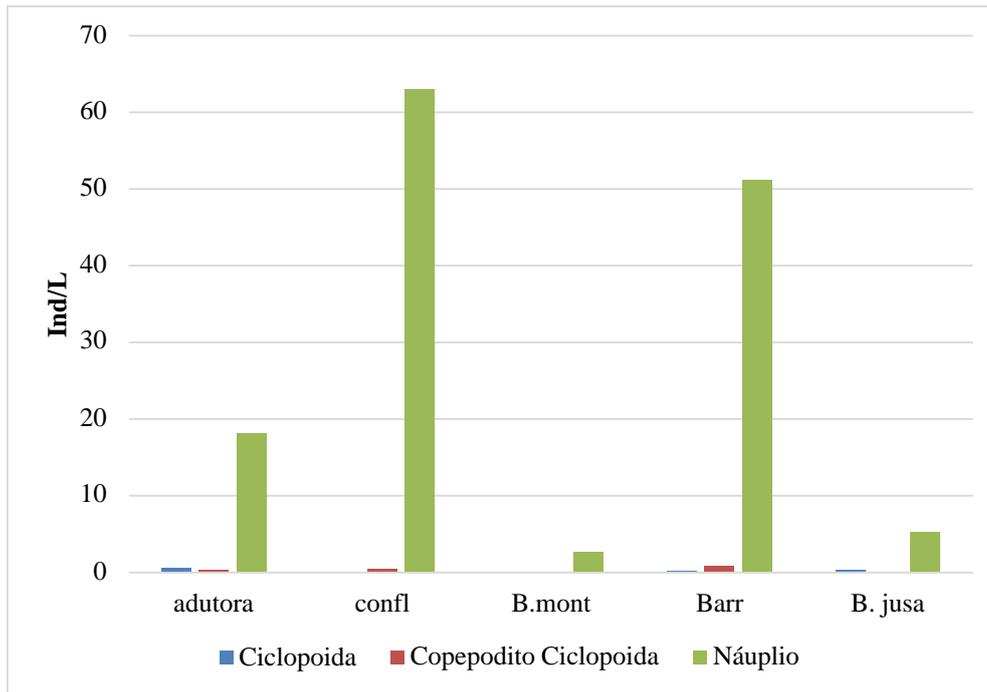
Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Os copépodes estiveram representados apenas por uma Ordem, Ciclopoida. Esta Ordem é a mais resistente a condições de eutrofização. As formas larvares naupliares foram as mais abundantes, principalmente no ponto Confluência em que alcançaram a densidade de 63,0 Ind.L⁻¹. A jusante o ponto com maior densidade de náuplios foi o Ponto Barragem.

Os Rotifera estiveram presentes com 26 espécies, sendo *P. dolichoptera*, na Confluência e *Lecane elsa* na Adutora as mais abundantes. A primeira associada a ambientes mais eutrofizados e a segunda a ambientes ricos em substratos. A jusante da Confluência as densidades foram menores, assim como a diversidade.

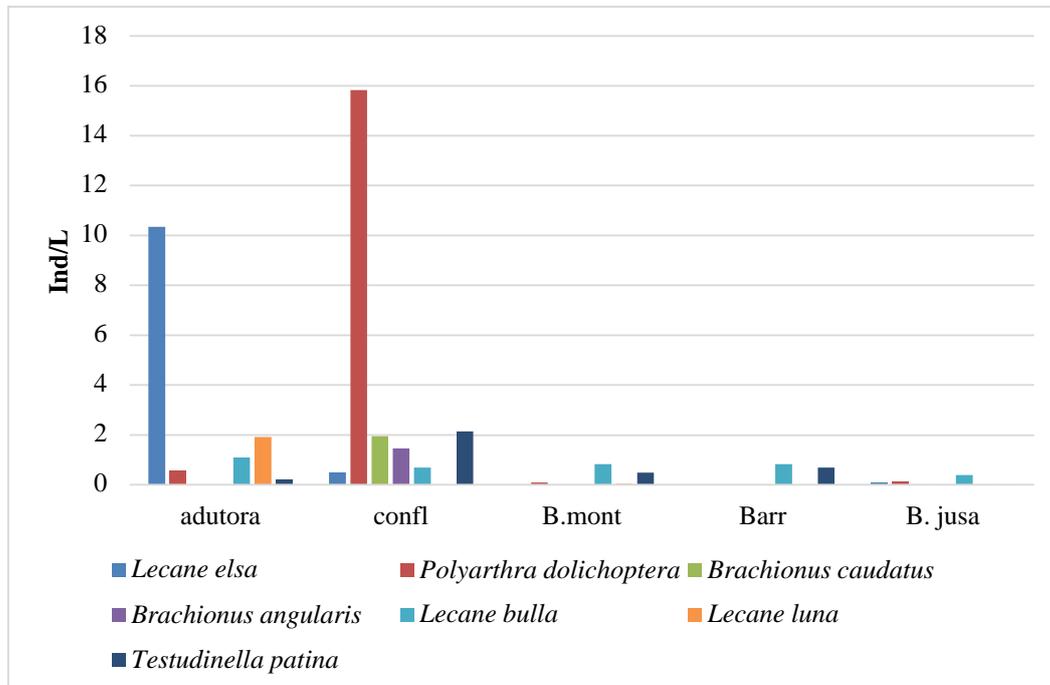
B. angularis e o grupo Bdeloidea, são organismos que preferem águas mais ricas em nutrientes, logo, com maior produção primária (MOURA, et al , 2012), e foram mais abundantes na Confluência, demonstrando a interferência de águas mais ricas em nutrientes trazidas pelo Riacho Bodocongó.

Figura 36-Densidades das espécies de Copepoda registradas no Rio Paraíba, em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB mês Abril de 2023



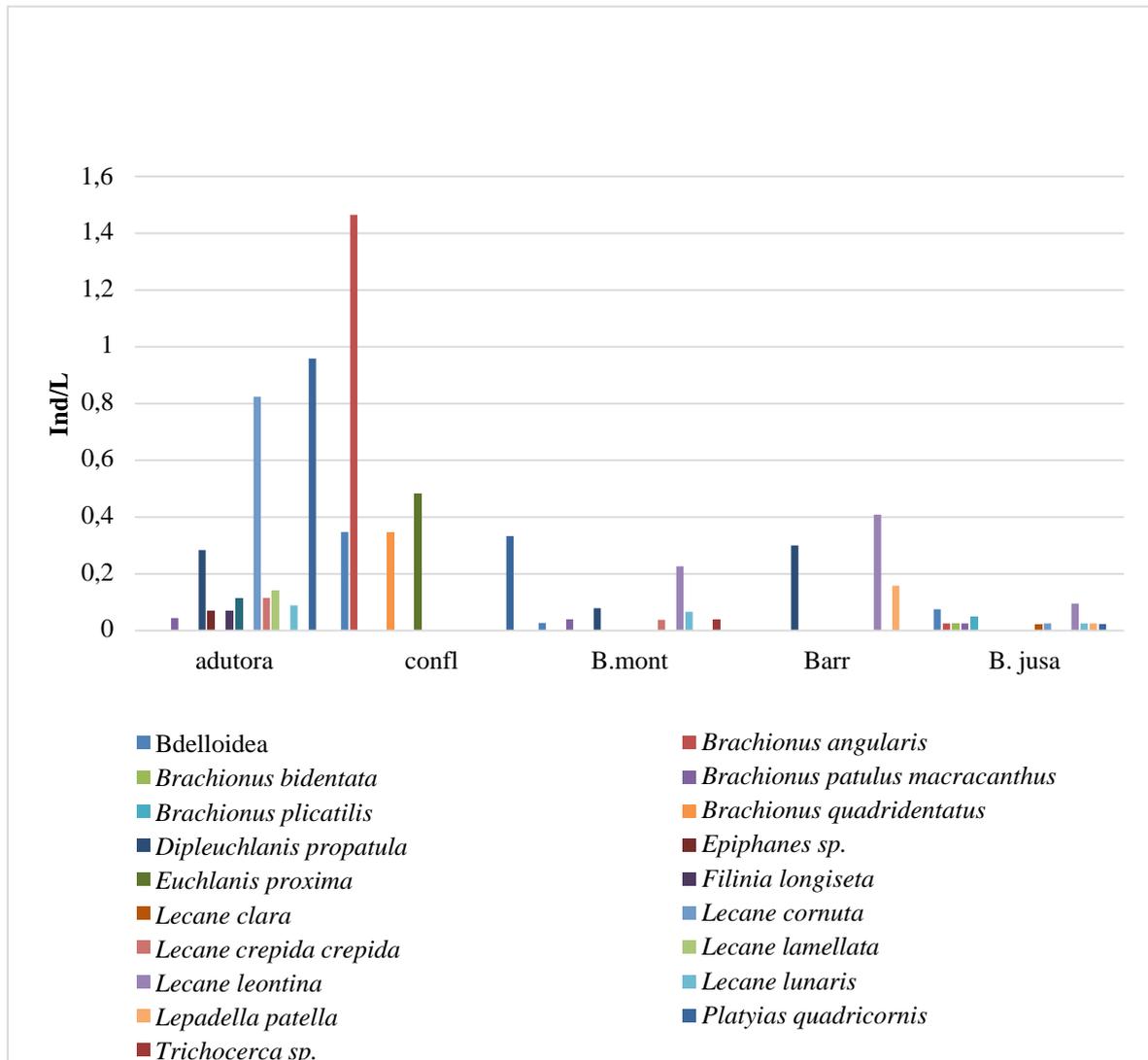
Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Figura 37 - Densidade das espécies de Rotifera mais abundantes, registradas em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB, Abril de 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Figura 38 - Densidade das espécies de Rotifera menos abundantes, registradas em trecho do médio Rio Paraíba, Barra de Santana/PB, Abril de 2023.



Fonte: Elaborado pela autora. Dados da pesquisa

Avaliando os resultados obtidos para a comunidade zooplanctônica pode-se afirmar que nos 3 meses analisados foi confirmado o impacto negativo do Riacho Bodocongó no Rio Paraíba. Verifica-se também que o Ponto Adutora, a montante da Confluência também apresenta alguns indicadores de águas mais poluídas, como por exemplo, maior densidade e diversidade de Rotifera, maior densidade de Copepoda, principalmente da Ordem Ciclopoida e formas naupliares, revelando que a poluição já vem de montante deste ponto. No entanto, o Rio Paraíba apresenta alguma capacidade de auto depuração, e melhora no trecho perto da Barragem de Curimatã, garantindo uma água de melhor qualidade para os banhistas que usam a barragem.

ANÁLISE DOS DADOS À LUZ DA RESOLUÇÃO 357/2005, PARA ÁGUAS DOCES DE CLASSE 2

Amônia

Com base nos resultados obtidos, observa-se que, considerando o valor de pH em cada ponto de amostragem, no mês de janeiro todas as concentrações de amônia estavam acima do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. Algumas concentrações, como as registradas na Confluência, estavam até oito vezes acima do limite máximo. Essa elevação nas concentrações de amônia foi principalmente devido aos valores de pH bastante elevados, atingindo até 9,2. Essa situação é motivo de grande preocupação, uma vez que a amônia é um composto tóxico para a biota, impactando negativamente a biodiversidade.

Entretanto, nos meses de março, com o aumento da precipitação e a entrada de mais água no rio, os valores de pH diminuíram, e, conseqüentemente, as concentrações de amônia também reduziram. Isso resultou na conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos para rios de Classe 2, indicando uma melhora nas condições ambientais. Essa mudança sazonal destaca a importância da variação climática na qualidade da água e ressalta a necessidade contínua de monitoramento para compreender as dinâmicas ambientais e tomar medidas eficazes de gestão ambiental, principalmente na solução do problema de falta de tratamento adequado de esgotos, com o seu tratamento, de forma a melhorar a qualidade de água do Rio Paraíba a jusante do ponto de confluência com o Riacho Bodocongó, que traz grande quantidade de nutrientes originados de esgotos da cidade de Campina Grande.

Nitrito

Os resultados da análise de nitrito revelam que, na maioria dos pontos e meses considerados, as concentrações estiveram acima do limite máximo estabelecido para rios de Classe 2, com exceção dos pontos jusante, montante, Adutora em março e Confluência em abril. As concentrações mais elevadas foram observadas no mês de janeiro, atingindo até 4,02 mg.L⁻¹, com a exceção do ponto Adutora antes de receber o Riacho Bodocongó, onde o esgoto de Campina Grande é descarregado. Este ponto apresentou concentrações abaixo do limite.

Essa condição se mantém para águas de Classe 3, uma vez que os limites são os mesmos para esse composto. O nitrito, em conjunto com a amônia, é reconhecido como tóxico, exercendo impactos negativos na biodiversidade. O fato de a maioria dos pontos analisados apresentar concentrações superiores aos limites estabelecidos destaca a preocupação com a qualidade da água, indicando uma potencial ameaça aos ecossistemas aquáticos e ressaltando a importância de medidas urgentes para controlar e reverter essa contaminação.

Nitrato

As concentrações de nitrato variaram entre 0,36 e 5,71 mg.L⁻¹, mantendo-se em conformidade com o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. Esse intervalo de valores sugere que, durante o período analisado, as concentrações de nitrato na água estiveram dentro dos padrões regulatórios permitidos para rios de Classe 2. Esse composto não é tóxico como os outros compostos nitrogenados.

Fósforo total

Ao analisar as concentrações de fósforo total, foi evidenciado que os valores encontrados foram consistentemente superiores aos recomendados pela resolução do CONAMA, com exceção do ponto da Adutora nos meses de janeiro, março e abril de 2023. Nestes meses específicos, as concentrações de fósforo total mantiveram-se mais baixas em comparação com os demais pontos de amostragem.

Esse padrão excepcional no ponto da adutora sugere que, esse local está menos suscetível ao acúmulo elevado de fósforo total, diferenciando-se do restante da área de estudo, visto que os outros pontos estão sob influência do Riacho Bodocongó que traz os impactos de esgotos não tratados em suas águas, elevando também as concentrações de fósforo total. A compreensão das variações espaciais e temporais dessas concentrações é crucial para uma gestão eficaz da qualidade da água, especialmente considerando os impactos adversos que elevadas concentrações de fósforo total podem ter no ecossistema aquático, induzindo a eutrofização.

Oxigênio dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido estiveram sempre muito baixas, perto do limite mínimo ou abaixo dele. Abril foi o mês em que o Rio Paraíba no trecho estudado apresentou concentrações de oxigênio mais baixas, variando de 1,35 a 4,07 mg.L⁻¹. Nos

outros meses, os pontos Confluência e Adutora apresentaram valores mais elevados, sempre mais elevados na Confluência. Estes valores foram mais elevados em Janeiro e Março, na Confluência, e em Março na Adutora. O oxigênio é o resultado de muitos fatores que agem em simultâneo e fica difícil de determinar qual o indutor do aumento de oxigênio por exemplo na Confluência em Janeiro, visto que é o resultado da diferença entre produção e consumo. As densidades de fitoplâncton foram elevadas, e tinha presente uma maior densidade de zooplâncton, o que demonstra que a produtividade de fitoplâncton era elevada, visto que mesmo na presença de predadores as densidades de fitoplâncton ainda foram elevadas. Isso pode explicar as maiores concentrações nesse ponto em Janeiro, mas outros fatores como a redução da temperatura, que reduz a volatilização do oxigênio para a atmosfera ou redução da decomposição podem também elevar as concentrações de oxigênio. No entanto, as temperaturas foram mais elevadas em janeiro e março que em abril, assim foi provavelmente uma maior produtividade do fitoplâncton que elevou as concentrações e clorofila-a.

Como pode ser observado, a maior parte dos indicadores de qualidade de água estiveram em muitas vezes acima do limite máximo da Resolução 357/2005 tanto para águas de Classe 2 quanto para águas de Classe 3, e isso coloca em risco a biodiversidade, a qualidade da água para balneabilidade, visto que a mesma resolução diz que o uso para recreação de contato primário só pode ser em rios com águas de Classe 2.

Dessa forma, é imprescindível que sejam realizadas ações que mudem esta realidade, e isso podem ser feito a baixo custo, com ações preventivas, com tratamento adequado do esgoto com fossas ecológicas e com ações de biorremediação no próprio rio, com uso do biofilme. Algumas propostas de gestão ambiental estão propostas abaixo.

Tabela4: Comparação dos Valores dos Parâmetros Físico-Químicos da água entre o trecho Médio Rio Paraíba, com os Padrões da Resolução CONAMA 357/2005 - Águas Doces Classe 2, meses de Janeiro,

PARAMÉTRIOS INORGÂNICOS	Pontos de Coletas	Janeiro/2023	Março/2023	Abril/2023	RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005, CLASSE 2 - ÁGUAS DOCES.
AMÔNIA	B. Barra	2,1	0,16	1,12	Para pH ≤ 7,5: Limite máximo de 0,7 mg/L N Para 7,5 < pH ≤ 8,0: Limite máximo de 2,0 mg/L N Para 8,0 < pH ≤ 8,5: Limite máximo de 1,0 mg/L N Para pH > 8,5: Limite máximo de 0,5 mg/L N
	B. Jusante	2,4	0,18	1,19	
	B. Montante	2,2	0,11	10,51	
	Confluência	1,3	0,25	0,25	
	Aduutora	0,59	0,07	0,22	
NITRITO	B. Barra	0,08	0,39	0,51	1,0 mg/L N
	B. Jusante	3,68	0,44	0,55	
	B. Montante	3,69	0,36	1,51	
	Confluência	4,02	1,52	0,02	
	Aduutora	0,57	0,43	0,63	
NITRATO	Barra	2,97	6,21	1,42	10,0 mg/L N
	B. Montante	5,80	4,52	0,32	
	B. Jusante e	3,55	4,86	1,77	
	Confluência	5,15	0,45	0,36	
	Aduutora	0,99	3,40	0,36	
FÓSFORO TOTAL	B. Barra	1,2	0,7	1,4	0,1 mg/L P (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)
	B. Montante	1,2	0,8	1,3	
	B. Jusante	1,1	1,0	1,4	
	Confluência	1,4	1,2	1,9	
	Aduutora	0,9	0,23	0,08	
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	B. Barra	4,10	4,60	4,03	Não inferior a 5 mg/L O ₂
	B. Montante	5,40	3,60	2,93	
	B. Jusante	5,20	4,20	3,30	
	Confluência	12,50	7,90	4,07	
	Aduutora	2,90	8,30	1,35	
pH	B. Barra	9,2	7,3	7,4	6,0 a 9,0
	B. Montante	8,0	7,4	7,5	
	B. Jusante	7,9	7,5	7,3	
	Confluência	9,2	7,9	7,5	
	Aduutora	7,4	7,5	6,9	

Março e Abril 2023.

Propostas de Melhoria da Qualidade de Água do Rio Paraíba

O impacto registrado pelo afluente Riacho Bodocongó poderia ser reduzido se ações de biotratamento na água, como a indução de biorremediação por bioestimulação do biofilme (OLIVEIRA, 2020) e o tratamento adequado do esgoto em Campina Grande, o que poderia ser feito por fossas ecológicas em nível unidomiciliar ou Pequenas Centrais de tratamento ecológico de esgoto - TEWetlands (SANTOS, 2017), que tratam de uma a dezenas ou centenas de casas, reduziria a entrada de nutrientes no Rio Paraíba garantindo uma melhor qualidade de água em todo o percurso a jusante da cidade de Campina Grande, o que garantiria também melhor qualidade nos Açudes a montante deste trecho do Rio Paraíba analisado, como o Açude Bodocongó.

Neste sentido, a implementação de sistemas de tratamento ecológicos, pode representar uma solução altamente viável e econômica para conter a disseminação de contaminação orgânica que tem sido identificada nas águas.

O Projeto PROBEX vinculado à Universidade Federal da Paraíba, voltado para a capacitação e construção de fossas ecológicas (Figs. 35 A e B), mostrou eficiência na diminuição de contaminantes na água, melhorando a qualidade de água em poço no município de João Pessoa.

Figura 39: (A), círculo de bananeiras (B) TEVAP, construídos em casas ribeirinhas do Rio do Cabelo, João Pessoa, PB(C) Esquema de TEWetland





FONTE: A) e B) Flávia Martins, 2020, C) elaborado por Gheizon da Silva

Além de melhorar a qualidade da água nos poços, o Rio do Cabelo também experimentou vantagens, uma vez que passou a ser alimentado por um lençol freático com menor contaminação. Isso resultou em benefícios adicionais, incluindo a redução da carga de nutrientes no rio.

Outros métodos utilizados no biotratamento da água pode ser a implantação de cortinas de plástico ou pedras que servirão de substrato para um filme biológico, que auxiliará no aumento da capacidade de auto depuração de rios. Essa metodologia já foi realizada no Rio do Cabelo, e deu muito certo, melhorando a qualidade de água do rio, como pode ser comprovado pelas figuras abaixo (Figs 36, 37 e 38, mostrando o antes e depois da instalação de substratos artificiais no Rio do Cabelo, para adesão do biofilme, comunidade biológica natural que auxilia na despoluição da água.

Fig.40 – Inserção de pedras no Rio do Cabelo (João Pessoa) para a melhoria da qualidade de Água.
Fonte: Acervo do LABEA/UFPB



Fig.41 – Plantas aquáticas no Rio do Cabelo, João Pessoa, antes da biorremediação



Fig. 42- Rio do Cabelo, João Pessoa, após a inserção dos substratos artificiais para aumento da comunidade de biofilme (biorremediação).



Fig. 43-Coloração da água do Rio do Cabelo no P5 quando foram colocadas as estruturas (A) e após 60 dias de tratamento (B). Diversidade de macrófitas após a instalação do biotratamento no P5(C). Porção do rio em que foram colocadas pedras, nas mesmas já é visível a presença de biofilme e algas (P2)(D).





Fonte: Oliveira (2020)

Nesse sentido, esses tratamentos ecológicos vêm promovendo soluções eficazes e adequadas, com a finalidade de preservar a disponibilidade dos recursos hídricos, os quais são fundamentais para o progresso humano, ambiental, econômico e social. Essas abordagens podem ser estabelecidas sobre bases mais sustentáveis e seguras, visando o bem estar do meio ambiente, da população e das gerações futuras.

Se o Riacho Bodocongó tivesse sujeito a esses biotratamentos, seja na prevenção, com fossas ecológicas unidomiciliares ou Pequenas Centrais de Tratamento de Esgoto do tipo TEWetland, na região de Campina Grande, ou seja com biorremediação no próprio Riacho, o Rio Paraíba receberia muito menor carga de poluição mantendo-se com melhor qualidade em todo o médio trecho, inclusive em áreas em que se torna balnear, como na Barragem Curimatã.

CONCLUSÕES

Os dados permitem perceber um forte impacto com a entrada do afluente Riacho de Bodocongó no Rio Paraíba, esse impacto tem um efeito mais forte, sendo sentido até mais a jusante, até à Barragem de Curimatã, nos meses com menos precipitação e mais localizado nos meses com mais precipitação.

Alguns parâmetros após sofrerem alteração após a entrada do Riacho Bodocongó, não conseguem voltar ao estado antes da confluência, demonstrando pouca resiliência nesse trecho do rio, para condutividade elétrica, e compostos fosfatados e nitrogenados, principalmente em períodos em que choveu menos, como janeiro e abril. Já em março que choveu mais, apenas fósforo total não voltou a valores anteriores a montante da Confluência. No entanto, essas concentrações de nutrientes estão favorecendo a presença de bancos de macrófitas flutuantes na Barragem Curimatã, o que pode causar impactos negativos se aumentarem os seus bancos, visto que em pequenas concentrações podem ter efeito positivo de fitorremediação (PÉREZ, 2015).

As comunidades zooplanctônicas corroboraram os dados da química, apresentando maiores densidades no ponto da Confluência, por estar mais eutrofizado. Alguns pontos mais ricos em plantas aquáticas apresentaram maior diversidade de espécies, principalmente para as espécies de *Lecane*, que vivem associadas a substratos. Espécies indicadoras de qualidade ambiental, indicando águas mais eutrofizadas, como espécies do gênero *Brachionus* estiveram mais associadas ao ponto da Confluência, também, confirmando ser um trecho mais eutrofizado.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR, 10004: 2004. Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/>> Acesso em setembro de 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., & SPAROVEK, G., 2013: Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.

ALMEIDA, V. L. S.; MELÃO, M. G. G.; MOURA, A. N. Plankton diversity and limnological characterization in two shallow tropical urban reservoirs of Pernambuco State, Brazil. **An Acad Bras Cienc**, v. 84, n. 2, p. 537-550, 2012.

ALMEIDA, H. A. de, CABRAL, L. N. Água e desenvolvimento sustentável na zona rural do semiárido paraibano. In: Simpósio Internacional de Geografia Agrária, 5, Belém, PA, 2011, Anais..., CD-R.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Brasília: ANA, 2019.

ANDRADE, L. R. S.; ANDRADE, M. Z. S. S.; FERNANDES, M. S. M.; ALVES, R. V.; BARBOSA, T. L. A. **Estudo físico-químico da qualidade da água do açude de Bodocongó, Campina Grande – PB.** XII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal-RN. 2016.

ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. **Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região.** Revista espinhaço, v. 3, n.2, p. 28-39, 2014.

ANDRADE, J. G. P.; BARBOSA, P. S. F.; SOUZA, L. C. A.; MAKINO, D. Linter basin Water Transfers: The Brazilian Experience and International Case Comparisons. **Water Resour Manage**, v. 25, n. 1, p. 25 – 1925 2011.

ARAÚJO, L. E.; SANTOS, M. J.; DUARTE, S. M.; OLIVEIRA, E. M. Impactos ambientais em bacias hidrográficas – caso da bacia do Rio Paraíba. **Tecno-lógica**, v. 13, n. 2, p. 109-115 , 2016.

ARZET K. O Rio Isar: Munique, Alemanha. Machado A.T.G.M., Lisboa A.H., Alves C.B.M., Lopes D.A., Goulart E.M.A., Lite F.A., Polignano M.V. (Org.) In: **Revitalização de rios no mundo: América, Europa e Ásia.** Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2010.

ARAÚJO, G. F. R.; TONANI, K. A. A.; JULIÃO, F. C.; CARDOSO, O. O.; ALVES, R.

I.S.;RAGAZZI, M. F.; SAMPAIO, C. F.; SEGURA-MUNOZ, S. I. **Qualidade físico-química emicrobiológica da água para o consumo humano e a relação com a saúde: estudo em umacomunidade rural no estado de São Paulo.** O Mundo da Saúde, v.35, p.98-104, 2011.

ARAÚJO, F. C.; BERTUSSI, G. L. **Saneamento básico no Brasil: estrutura tarifária e regulação. Planejamento e Políticas Públicas, Brasília,** n. 51, p. 165-202, 2018.

ALMEIDA, H. A.; FREITAS, R. C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis. **Revista de Geografia (UFPE),** v. 30, No. 1, 2013.

ALVES, R.I.S.; CARDOSO, O.O.; TONANI, K.A.A.; JULIAO, F.C.; TREVILATO, T.M.B.; MUÑOS, S.I.S. Water quality of the Ribeirão Preto Stream, a watercourse under anthropogenic influence in the southeast of Brazil. **Environ Monit.** 185:1151–1161. 2016.

ARORA, A. **Rotifera as indicator of trophic nature environments.** Hydrobiologia, v. 27, p. 146-159,1966

AZEVEDO, E. L.; BARBOSA, J. E. L.; VIANA, L. G.; ANACLETO, M. J. P.;CALLISTO, M.; MOLOZZI, J. Application of a statistical model for the assessment of environmental quality in neotropical semi-arid reservoirs. **Environ Monit Assess,** 189 – 65, 2017.

AZEVEDO, S.M.F.O. CARMICHAEL, W. W.; JOCHUMSEN, E. M.; RINEHART, K. L.;LAU, S.; SHAW, G. R.; EAGLESHAM, G. K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru-Brazil. **Toxicology,** v. 182, p.441-446, 2002.

BARBOSA, J. E. L.; MENDES, J. **Estrutura da comunidade fitoplanctônica e aspectos físicos e químicos das águas do reservatório Acauã, semiárido paraibano...Anais...** Reunião Brasileira de Ficologia, Salvador, 2004.

BARBOSA JEL, Medeiros ESF, Brasil J, Cordeiro RS, Crispim MCB, Silva GHG. **Aquatic systems in semi-arid Brasil: Limnology and management.** Acta limnológica brasiliensia, 24(1):103-118. 2012.

BATISTA, P. H. D.; FEITOSA, A. K.; LEITE, F. E.; SALES, M. M.; SILVA, K. B.Avaliação da qualidade das águas dos rios São Francisco e Jaguaribe para fins de irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido,** v.12, n.1, p.48-54, 2016.

BARROS, L. R.. **O índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense.** Dissertação de Mestrado,Programa de Gestão de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará,Fortaleza, CE, Brasil 2013. 85p.

BEM, C. C, A; BRAGA, M. C. B e AZEVEDO, J. C. R. Avaliação do Estado Trófico de um Lago Urbano Raso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Vol. 10. n.1 – pag 41 -50, Jan/Jun, 2013.

BIGUELINI, C.P.; GUMY, M.P.. Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. **Revista Faz Ciência,** 14(20): 153-175, 2012

BOTT, T. R. Aspects of biofilm formation and destruction. *Corrosion Reviews*, v.11, p.1-24, 1993.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 1**, de 23 de janeiro de 1986.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 339**, de 25 de setembro de 2003.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. 2005. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005.

BRASIL. LEI Nº 9.433/1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 430**, de 13 de maio de 2011.

BRANCO, C. W. C. & P. A. C. SENNA. Relations among heterotrophic bacteria, chlorophyll-a, total phytoplankton, total zooplankton and physical and chemical features in the Paranoá reservoir, Brasília, Brazil. *Hydrobiologia*, v. 337, pp. 171-181, 1996.

BRITO, L. T. L.; PORTO, E. R.; SILVA, A. S.; SILVA, M. S. L.; HERMES, L. C.; MARTINS, S.S. (2005). **Avaliação das características físico-química e bacteriológicas das águas de cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE**. In: V Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva para a sustentabilidade de áreas rurais e urbanas: Tecnologias e Construção da Cidadania, Teresina - PI. ANAIS.

BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). **Rev. Ambient. Água**, v. 9, n. 1, p. 130 – 148, 2014.

CAMPECHE, D. F. B.; PEREIRA, L. A.; FIGUEIREDO, R. A. C. R.; PAULINO, R. V. Caracterização limnológica e morfometria de açudes dependentes de chuva povoados com tambaqui (*Colossoma macropomum*) no Semi- Árido Nordeste. In: Congresso brasileiro de produção de peixes nativos de água doce, encontro de piscicultores de Mato Grosso do Sul. Embrapa Agropecuária Oeste, 2007.

CAMPOS, I. Z. A. A importância de tratamento de águas residuais através da biorremediação: Uma análise principiologia. *RFides*, v. 5, n. 2, 2014.

CARNEIRO, D.A.; GANGLIO, L.P; A Biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. **Revista Tecer**, v. 3, n. 4, p. 82 - 95, 2010.

CARVALHO, J. A. P. **Diagnóstico da Degradação Ambiental do Açude de Bodocongó em Campina Grande-PB**. 96f., 2007. Dissertação (Programa de Pós-

graduação em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, CTRN. Campina Grande, 2007.

CARLSON, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 361-369.

CASTEROT, B. RIO SENA: PARIS, FRANÇA. IN: MACHADO, A.T.G.M. **Revitalização de rios no mundo**. Belo Horizonte: Instituto Guaicury, 2010.

CARVALHO, A. P.; MORAES NETO, J. M.; LIMA, V. L.A. SILVA, D. G. K. C. Estudo da degradação ambiental do açude Bodocongó. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 293-305, mai/ago 2000.

CAVENAGHI, A. L. **Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do Rio Tietê**. 2003. 80f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia), UNESP, Botucatu, 2003.

CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Relatório Técnico. CETESB, 2009, 46p.

COELHO-BOTELHO, M. J. Dinâmica da Comunidade Zooplancônica e sua Relação com o Graude Trofia em Reservatórios. São Paulo: CETESB. 2003.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2011.103.

CORREIA, J. L. H.; FERNANDES, A. J. D.; LUCIO, M. M.L. M.; TOMAZ, J. O.; HONORATO, M. B.; CARNEIRO, E.N. Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba – Cabedelo, PB. Rev. Principia. N.27. João Pessoa. 2015.

COSTA, CINTHIA CABRAL DA; GUILHOTO, JOAQUIM JOSÉ MARTINS. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora, 2014. Disponível em:<http://www.scielo.br/pdf/esa/v19nspe/1413-4152-esa-19-spe-0051.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2019.

COSTA, C.C.; GUILHOTO, J.J.M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. Eng Sanit Ambient, p. 51-60. Edição especial, 2011 .

COSTA, T. C. F. Ações antrópicas de impactos negativos no açude de Bodocongó no município de Campina Grande – Paraíba. Revista Brasileira de Informações Científicas. v.2,n.2, p.78-89. 2011.

COSTERTON, J. W.; GEESEY, G. G.; CHENG, K. J.; How bacteria stick. Scientific American, 238, p.86-95, 1978.

_____, RESOLUÇÃO N°. 397, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2008.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CONAMA. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2011.

CRISPIM, M. C., VIEIRA, A. C. B., COELHO, S. F. M., & MEDEIROS, A. M. A. Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming. **Acta limnologica brasiliensia**, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2009.

CRISPIM, M. C.; PAZ, R. J.; WATANABE, T. Comparison of different *Moina minuta* populations dynamics eclosed from resting eggs in a semi-arid region in Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 5/6, p. 33-38, 2003.

CRISPIM, M. C. & T. WATANABE. Caracterização limnológica das bacias doadoras e receptoras de águas do rio São Francisco: 1 – Zooplâncton. *Acta Limnol. Bras.*, v. 12, pp. 93-103, 2000.

DAGNINO, RENATO. Tecnologia social e economia solidária: construindo pontes. Campinas: Gapi/Unicamp, 2012.

DIAS, F. T; VALENÇA, A. D; ARAÚJO, I. T.; GOMES, R. C.; MOREIRA, M. R. Water Resources Management. Coexistence and Conflict in Semiarid Brazil **Desenvolvimento em Questão**, v. 14, n. 34, p. 91-126, 2016.

EPA: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, UNITED STATES. How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers. Chapter XIII - Chemical Oxidation, EPA 510-B-94-003; EPA 510-B-95-007 and EPA 510-R-04-002, 2004a. 52p.

ESTEVEES, F.A.; AMADO, A.M. Nitrogênio, p 239 – 258. In: Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 2011.

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, 790p, 2011.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2 ed, 602 p, 1998.

FARIAS, M.S.S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio do Cabelo**. Campina Grande. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) UFCG- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2006. 178p. 2006.

FIA, R.; TADEU, H.C.; MENEZES, J.P.C.; FIA, F.R.L.; OLIVEIRA, L.F.C. **Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 1, p. 267- 275, 2015.

FULEKAR, M. H. GEETHA, M. S. J. Bioremediation of Trichloropyr Butoxyethyl Ester (TBEE) in bioreactor using adapted *Pseudomonas aeruginosa* in scale up process technique. **Biol, Med.**, v. 1, n. 3, p. 1-6, 2009.

FLEMMING, H-C. Biofilms and environmental protection. Water Science Technology. v.27, n.7-8, p.1-10, 1993.

GALINDO, N. et al Perguntas e respostas: fossa séptica biodigestora. In, PORTALEMBRAPA, Brasília, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/908011/perguntas-e-respostas-fossa-septica-biodigestora>.

GARCIAS, C. M.; AFONSO, J. A. C. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1(1):. 131-144, 2013.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V, S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 17(32): 103-102, jun. 2005

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Saneamento básico. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2009.

GUNKEL, G.; LIMA, D.; SELGE, F.; SOBRAL, M.; CALADO, S. Aquatic ecosystem services of reservoir in semi-arid areas: sustainability and reservoir management River Basin Management VIII, v. 197, p. 187-200, 2016.

HOLZ, I. H. Águas urbanas: da degradação à renaturalização. **Anais...** In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – Vitória-ES, 2011.

HOHMANN A. C. C. Regulação e Saneamento na Lei Federal Nº. 11.445/07. Rev. Jurídica PGE, Paraná, Curitiba, n. 3, p. 211-244, 2012.

IBEGE. Pesquisa Nacional de Saneamento básico. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366>. Acesso em junho de 2022.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Censo Demográfico. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em: 09 de novembro de 2021.

KOBIYAMA, M.; et al. Saneamento rural. In: Seminário Saneamento Ambiental, Rio Negrinho: ACIRNE, Anais... 2008. CD-ROM. 24p. Disponível em: Acesso em: 08 de junho de 2019.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LEAL, MÁRCIA SOUZA – Gestão Ambiental dos Recursos Hídricos – Princípios e Aplicações –1998.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OLIVEIRA, Sonia ValleWalter Borges de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. Revista de Administração Pública. Rio de Janeiro: FGV - EBAPE, mar./abr. 2011.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2005.

LIMA, S. M. S.; BARBOSA, L. G.; CRUZ, P. S.; WANDERLEY, S. L.; CEBALLOS, BO. Dinâmica funcional de reservatórios de usos múltiplos da região semiárida/Paraíba-Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 18-25, LIMA 2017.

LIN, G. H.; SAUER, N. E.; CUTRIGHT, T. J. Environmental Regulations: A Brief Overview of their Applications to Bioremediation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, p. 1-8, 1996.

LINDSAY, D.; VON HOLY, A. What food professionals should know about bacteria biofilms. *British Food Journal*, v. 108, p. 27-37, 2006.

LOPES, P. R. D; OLIVEIRA-SILVA, J. T.; FERREIRA-MELO, A. S. A. Contribuição ao conhecimento da ictiologia do manguezal de Cacha de Pregos, Ilha de Itaparica, Baía de Todos os Santos, Bahia. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 15, (2): 315-325, 2013.

LUNA, B. J. C. Características espaço-temporais do sistema do Açude Acauã -PB, e seu atual Índice de Estado Trófico. 120f., 2008. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente), da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2008.

MAGALHÃES, N. F.; CEBALLOS, B. S. O. ; NUNES, A. B. A. ; KÖNIG, A.; GHEYI, H. G. Principais impactos nas margens do rio Bodocongó -PB, decorrentes da irrigação com águas poluídas com esgotos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 128-135, 2002.

MARCELINO, S.C. Zooplâncton como bioindicadores do estado trófico na seleção de áreas aquícolas para piscicultura em tanque-rede no reservatório da UHE Pedra no Rio de Contas, Jequié-BA. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE, Brasil. 59p. 2007.

MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.; MAGALHÃES JR., A. P. Restauração de Cursos d'água em Áreas Urbanizadas: Perspectivas para a Realidade Brasileira. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 3, p. 127-139, 2011.

MARINHO, R. S. A. **Biorremediação para o Melhoramento da Qualidade da Água em Rios Urbanos em João Pessoa – PB: efeitos na ictiofauna.** 2018. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente), da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

MATSUURA, Y.; OLIVAR, M. P. Fish larvae. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.) South Atlantic zooplankton, p.1445–1496. Buckhuys Publ., Leiden: 1999.

MEDEIROS, I.H; JUNIOR, A.P.M; Resignificação de Rios Urbanos em Grandes Metrópoles: Limites entre o ideal e o Possível. In: XIII SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA APLICADA, 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009.

MENDES, L. S.; FERREIRA, I. M. Influência da sazonalidade na qualidade da água bruta no município de Ituiutaba – MG. *Hygeia*, v. 10, n. 19, p. 97-105, 2016.

MEYBECK, M. Carbon, Nitrogen and Phosphorus Transport by World Rivers. *American Journal of Science*, p. 401–405, 1982.

MILESI, S. V.; BIASI, C.; RESTELLO, R. M; HEPP, L. U. Efeito de metais cobre (Cu) e Zinco (Zn) sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos do sul do Brasil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 3, p. 283-289, 2014.

MOREIRA, J. P. P. C. **Caracterização do efluente de uma fossa séptica biodigestora, uma alternativa para tratamento de esgoto na zona rural: estudo de caso bacia de captação do Rio Boa Vista, Ouro Preto do Oeste/RO.** 2011. 50f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2011.

MOREIRA, M.M.M.A. (2001). A Política Nacional de Recursos Hídricos: avanços recentes e novos desafios. In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R.C.; LEME, A.A. (orgs.) **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil.** São Carlos, SP, Rima, p.69-76

MOREDJO, A.. Avaliação dos efeitos das atividades humanas sobre o estado trófico dos açudes paraibanos, com ênfase na utilização da comunidade zooplanctônica como bioindicador. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 1998.

MORETTO, Y.; SIMÕES, N.R.; BENEDITO, E.; HIGUTI, J. **Effect of trophic status and sediment particle size on diversity and abundance of aquatic Oligochaeta (Annelida) in neotropical reservoirs.** *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 49(1): 65-78, 2013.

NUNES, A. B. A.; PEREIRA, C. B. ; CEBALLOS, B. S. O. ; TEIXEIRA, E. C. ; KÖNIG, A. ;NÓBREGA, E. S. Resposta do Processo de Autodepuração ao Impacto dos Esgotos Domésticos em um Rio do Semiárido Paraibano-Baixo Bodocongó. In: IX SILUBESA-Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Seguro-BA. **Anais...** IX SILUBESA. Rio de Janeiro.

NRC: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. In Situ Bioremediation: When Does It Work? Washington, DC, National Academy Press, 1993.

OLIVEIRA, F. M. F. **Restauração de ecossistemas aquáticos a partir da biorremediação**. 230f., 2020. Tese (Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2020.

OLIVEIRA, M. C. N.; CEBALLOS, B. S. O. Níveis de eutrofização de um reservatório localizado no Semiárido paraibano. **Anais...** Congresso Nordeste de Biólogos – v. 4: Congrebio 2018.

ONU, Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2022.37.

MATSUMURA- TUNDISI, T. & TUNDISI, J. G. Plankton studies in a lacustrineenvironment. I. Preliminary data on zooplankton ecology of Broa Reservoir. *O ecologia*, v. 25,p.265-270,1976.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; LEITÃO, S.N.; AGUENA, L.S.; MIYAHARA, J. Eutrofização da represa de Barra Bonita: estrutura e organização da comunidade de Rotifera. *Rev. Bras. Biol.*, v. 50, n.4, p. 923-935, 1990.

MERCANTE, C. T. J. & TUCCI-MOURA, A., 1999. Comparação entre os Índices de Carlson e de Carlson Modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais. *ActaLimnologica Brasiliensia*. v.11 (1): 1-14.

MOURA, G.C.;MONTEIRO, F.M.; VIANA, L.G.; ALBUQUERQUE, M.V.; SILVA, S.M. Evolução do estado trófico do reservatório de Bodocongó, Semiárido, Brasil. *Anais do Encontro Nacional de Educação, Ciência e Evolução – UEPB*, 2012.

NEUMANN-LEITÃO, S. & NOGUEIRA-PARANHOS, J. D.; SOUZA, F. B. V. A. 1989.Zooplâncton do Açude de Apipucos, Recife – PE (Brasil). *Arq. Biol. Tecnol.* 32 (4): 803-821.NEW, T. R.An Introduction to Invertebrate Conservation Biology. Oxford University Press. 194p. 1995.

NUSCH, E. A. 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigmentdetermination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, v. 14, p.14-36.

OLIVEIRA, F.M.F Biorremediação: uma forma de despoluição de ecossistema lótico com a utilização de biofilme e macrófitas tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 253 f., 2020.

ORCUTT, J. D. JR. & PACE, M. L. 1984. Seasonal dynamics of rotifer and crustacean zooplankton populations in a eutrophic monomictic lake with a note on rotifer sampling techniques. *Hydrobiologia* 119: 73-80.

OTSUKA, M. M. & COELHO-BOTELHO, M. J. A.Cladocera planctônicos comoindicadores do estado trófico dos reservatórios Billings e Guarapiranga (São Paulo). In: *Anais 38 do IX Congresso Brasileiro de Limnologia: Água – Rompendo fronteiras entre Ciências,Educação e Cidadania, Juiz de Fora – MG. CD,2003.*

PAES, F.; et al. Uso de tecnologias ecológicas de saneamento básico para solução de conflitos socioambientais. *Gaia Scientia*, v. 8, n. 1, p. 226-247, 2014.

PAMPLONA S & VENTURI M. (2004) Esgoto à flor da terra. *Permacultura Brasil. Soluções ecológicas*. V16

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado Paraíba**. 2006. Disponível em: <www.aesa.pb.gov.br> Acesso em 22 de julho de 2015.

PARRA, G.; MATIAS, N.G.; GUERRERO, F. & BOAVIDA M.J.2009. Short term fluctuations of zooplankton abundance during autumn circulation in two reservoirs with contrasting trophic state. *Limnetica*, 28: 175-184.

PEREIRA JÚNIOR, E. B.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; HAFLE, O. M. Impactos do pisoteio ovino nos atributos físicos do solo em área de coqueiro-anão irrigado, na região do semiárido paraibano. **Gl. Sci Technol**, v. 07, n. 01, p.48 – 55, 2014.

PEREIRA, S de F.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. F. Estudo químico ambiental do Rio Murucupi- Barcarena, PA, Brasil área impactada pela produção de alumínio. *Revista Água & Ambiente*, v. 2, n. 3, 2007. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.34>

PÈREZ, J.M. Biofilme e macrófitas como ferramenta de biorremediação em ecossistemas aquáticos e tratamento de esgotos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. 159 p. 2015

PEREZ, E. J.; SIERRA, R. C.; GONZÁLEZ, I.; VIVES, F. R. Influence of *Desulfovibrio* sp biofilm on SAE 1018 carbon steel corrosion in synthetic marine medium. *Corrosion Science*, v.49, p.3580-3597, 2007.

PONTES, P. P; MARQUES, A. R; MARQUES, G. F. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo – Contagem. *Revista Água & Ambiente*, v. 7, n. 3, p. 183-194, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.962>

QUEIROZ, L. G.; SILVA, F. T.; PAIVA, T. C. B. Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 12, n. 2, p. 238-248, 2017.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. *Estudos Avançados*, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100007>. Acesso em: 16 de Março de 2019.

RIBEIRO, K. H.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; SOUZA, L. C. P.; MINELLA, J. PG.; ALMEIDA, L.; RAMOS, M. R. Quality of surface water related to land use: a case study in a catchment with small farms and intensive vegetable crop production in southern Brazil. **R. Bras. Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 656-668, 2014..

ROSSISTER, K.W.L.; BENACHOUR, M.; MATTA, E.; MORAIS, M.M.Q.M.M, CALADO, S.C.S.; GUNKEL, G. Diagnóstico da qualidade da água ao longo Da

transposição de um canal de concreto: Um estudo de caso do canal do sertão alagoano, Brasil. **RBCIAMB**, v.1, n.36, p. 145-154, 2015.

SANTOS, C. L.; SOUZA, A. S; VITAL, S. R. O; GIRÃO, O.; WANDERLEY, L. S. A. Impactos da urbanização em bacias hidrográficas : o caso da bacia do Rio Jaguaribe , cidade de João Pessoa / PB. **Revista De Geociências Do Nordeste - REGNE**, 2(ESPECIAL): p. 1024–1033, 2016.

SANTOS, M. Fossa de Evapotranspiração – Tevap, 2013. Disponível em:<<https://prezi.com/wotkvf651oog/fossa-de-evapotranspiracao-tevap/>>. Acessado em:15/05/2017.

SANTOS, L. A. A falta de saneamento é o principal responsável pelos índices de Doença de Veiculação Hídrica? Um estudo das populações que habitam as margens de igarapésem Manaus, – AM. 2006. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Meio Ambiente).Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

SILVA JR., W. R. **Estudo do estado trófico em reservatório público de usos múltiplos em região do semiárido nordestino utilizando a técnica de modelagem computacional como ferramenta de gerenciamento da qualidade da água.** 2013. 85 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE. 2013.

SILVA, C. H. R. T (2012). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil. Boletim Legislativo, n. 3. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br>>. Acesso em: 18 jan. 2013

SILVA, D. F., GALVÍNCIO, J. D., ALMEIDA, H. R. R. C. Variabilidade da qualidade de água na bacia hidrográfica do rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 9, n. 3, 2010.

SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. Análise da degradação ambiental no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Bol. Goia. Geogr. (Online)**, v. 34, n. 1, p. 35-53, 2014.

SILVA, P. R. N. **Dinâmica espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica de reservatórios em cascata na Bacia do Alto Rio Paraíba.** 2012. 48f. TCC (Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

SILVA, T.E.; CRISPIM, M.C.; ANDRADE, M.O.; REGALA, P.S. Ecoturismo e Educação Ambiental nas trilhas guiadas no Vale do Capão (BA). *Revista Brasileira de Ecoturismo*. v 14, n.3, p.368-390. 2021

SILVEIRA, L. R.; TATTO, J; MANDAI, P. /Biorremediação: considerações gerais e características do processo. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 13, n. 2, p. 32-47, jul./dez. 2016.

SMITH, V.H; SCHINDLER, D.W. Eutrophication Science: Where do We Go from Here? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 24, p. 201-207, 2009.

SOUSA, C. E. Avaliação de Sistemas Biorremediadores em Efluentes da Lagoa Facultativa da Estação de Tratamentos de Esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB. 2015.75 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2015.

SOUSA, W. Comunidades zooplancônicas como bioindicadoras da qualidade da água de quatro reservatórios da região semi-árida do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado. UFRN. Natal, Brasil. 89p.2007.

SOUZA, C. E. Avaliação de Sistemas Biorremediadores em Efluentes da Lagoa Facultativa da Estação de Tratamentos de esgotos em Mangabeira, Joao Pessoa – PB. Dissertação. Universidade Federal da Paraíba-UFPB. 74p. João Pessoa-PB. 2015

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng Sanit Ambient**, v.19, n.3, p. 263-274, 2014.

SOUZA, S. H. B. de; MONTENEGRO, S. M. G L.; SANTOS, S. M. de; PESSÔA, S. G. dos.; NÓBREGA, R. L. B. (2011). Avaliação da qualidade da água e da eficácia de barreiras sanitária sem sistemas para aproveitamento de água de chuva. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.16, n. 3, p. 81-93.

SCHAEFFER, L. R., 2007. Distribuição espacial e temporal da comunidade fitoplancônica em uma área de malacultura no município de Anchieta – ES. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (Área: Fisiologia Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo(UFES), Vitória – ES, 124f.

SPERLING, V. M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

TEIXEIRA, M. G. L. C.; COSTA, M. C. N.; CARVALHO, V. L. P.; PEREIRA, M. S.; HAGE, E. (1993). Epidemia de gastroenterite na área da barragem de Itaparica, Bahia. *Boll. Sait. Panam.* 114 (6): 502-511.

TEIXEIRA, A.R; CHERNICHARO, C. A. DE. L.; SOUTO, T. F. DA S.; DE PAULA, F. S. Influência da alteração da distribuição do tamanho de partículas no desempenho de reator UASB tratando esgoto doméstico. *Eng. Sanit. Ambient.* vol.14 no.2 Rio de Janeiro Apr./June 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522009000200003&lang=pt> Acesso em: 01/07/2014

TUROLLA, F. A. Política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas. Texto para Discussão (IPEA), Brasília-DF, n.922, p. 1-26, 2002.

TREVISAN, A. B.. Estudos e modelagem da qualidade da água do Rio Papaquara. 114p, 2011. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; HENRY, R.; ROCHA, O. & HINO, K. 1988. Comparação do estado trófico de 23 reservatórios do Estado de São Paulo: Eutrofização e manejo. In: TUNDISI, J.G. (ed.) Limnologia e manejo de represas. vol. 1. Tomo 1. São Paulo : Série Monografias em Limnologia/USP.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, v. 70: 24-35. 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2005.

WADE, P.M., LARGE, A.R.G. & DE WALL, L.C., Rehabilitation of degraded river habitat: an introduction. In: de Wall, L.C., Large, A.R.G. & Wade, P.M. (eds.) **Rehabilitation of rives: principles and implementation** (pp. 1-10). Chichester, UK: John Wiley & Sons.

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. C. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 21, n. 2, p.415-424, jun. 2016. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016139527>.

WETZEL, R.G. International workshop on ecosystems (Opening remarks). DI'. W. Junk Publishers, 3-4. 1983.

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. Vulnerabilidade a eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmidos (Cuba) e semiárido (Brasil). Rev. Eng. Sanitária e Ambiental. V.21. n.2. 2016.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; BU, J. C. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB. **Rev. Tamoios**, v. 8, n. 2, p. 15-28, 2012.

WATANABE, T.; LIMA, M.A.M.; MACHADO, V.M.N.; PAZ, R.J. Características limnológicas do Rio Gramame, João Pessoa (PB), Brasil: Variáveis ambientais. Acta Limnol. Brasil., v.3, n.1, p.363-389, 1990.

YAKUBU, M. B. Biological approach to oil spills remediation in the soil. African Journal of Biotechnology, Nigeria, v. 6, n.24, p. 2735-2739, 2007.

ZANELLA, M.E. considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Volume Especial, n.36, p. 126-142, 2014.

ZANINI, H. L. H. T. Caracterização limnológica e microbiológica do córrego rico que abastece Jaboticabal (SP). São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2009. 75p. Tese Doutorado.