



ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM UMA LAGOA URBANA NA CIDADE DE JOÃO PESSOA (PB): DIAGNÓSTICO E PROPOSTAS DE MELHORIA

Luana Marques Souza Farias

Universidade Federal da Paraíba

Maria Cristina Basílio Crispim da Silva

Universidade Federal da Paraíba

Clarisse Teixeira Adloff

Universidade Federal da Paraíba

Randolpho Sávio de Araújo Marinho

Universidade Federal da Paraíba

RESUMO

Entre os impactos gerados pelo homem, um dos mais corriqueiros é o dos recursos hídricos urbanos, estando os ambientes lênticos, como lagoas, sofrendo continuamente com o despejo de efluentes, podendo causar danos diretos ou indiretos à saúde e à sobrevivência dos organismos expostos. Nesse sentido, para possibilitar atitudes de gestão favoráveis a uma melhor qualidade ambiental, faz-se necessário conhecer os parâmetros físicos, químicos e biológicos que interagem nesses ecossistemas. Assim, este estudo busca realizar um diagnóstico acerca da qualidade da água da lagoa do Parque Sólton de Lucena, localizada na cidade de João Pessoa, PB, Brasil. Foram realizadas três coletas em três pontos e feitas análises físicas e químicas e da comunidade zooplânctônica, de forma individual e utilizando correlação múltipla por meio do software R Studio. A partir das análises foi possível verificar que a maior concentração dos nutrientes e menores concentrações de oxigênio foram identificadas nos pontos 2 e 3, pontos estes que também apresentaram uma menor diversidade de espécies, sendo o grupo rotífera o que apresentou maiores densidades e também a maior diversidade encontrada, destacando-se as espécies *Brachionus calyciflorus*, *Trichocerca* sp. e o grupo Bdelloidea, sendo a primeira e último indicadores de águas eutrofizadas. Estes dois pontos recebem efluentes urbanos.

Palavras-chave: Qualidade da água, Lagoa, Diagnóstico, Planejamento.

WATER QUALITY ANALYSIS AT AN URBAN LAGOON IN THE JOÃO PESSOA CITY (PB): DIAGNOSIS AND IMPROVEMENT PROPOSALS

ABSTRACT

Among the impacts generated by man, one of the most common is that of urban water resources, with lentic environments, such as lagoons, continually suffering from the dumping of effluents, which can cause direct or indirect damage to the health and survival of exposed organisms. In this sense, to enable management attitudes favorable to better environmental quality, it is necessary to know the physical, chemical and biological parameters that interact in these ecosystems. Therefore, this study seeks to carry out a diagnosis of the water quality of the lagoon at Parque Sólon de Lucena, located in the city of João Pessoa, PB, Brazil. Three collections were carried out at three points and physical and chemical analyzes and analyzes of the zooplankton community were carried out, individually and using multiple correlation using the R Studio software. From the analyzes it was possible to verify that the higher nutrient concentrations, and lower oxygenation were identified in points 2 and 3, points that also presented a lower diversity of species, with the rotifer group being the one with the highest densities and also the greatest diversity found, highlighting the species *Brachionus calyciflorus*, *Trichocerca* sp. and the Bdelloidea group, being the first and last indicators of eutrophicated waters. These two points receive urban effluents.

Keywords: Water quality, Lagoon, Diagnosis.

INTRODUÇÃO

A preocupação com os impactos gerados pelo homem no meio ambiente passou a ter maior ênfase a partir de 1950 (VERRIER et al., 2014). Entre estes impactos, um dos mais corriqueiros é sentido nos recursos hídricos urbanos, que sofrem pressão continuamente por diversos fatores como a ausência de coleta e/ou tratamento de resíduos sólidos, impermeabilização, ocupação irregular e degradação ambiental das margens de corpos hídricos, problemas de drenagem urbana e ausência de planos integrados de gestão ambiental (TUCCI, 2008), assim como o lançamento de esgotos não tratados.

Os ambientes lênticos, como lagoas e lagos, sofrem com o despejo de efluentes, principalmente de origem doméstica, podendo causar danos diretos ou indiretos à saúde e à sobrevivência dos organismos expostos, com o agravante de que esses ambientes têm dificuldade de renovação de suas águas, que sofrem processos de eutrofização (CHRISTOFOLETTI, 2008; VEIGA, 2010), por acumular cada vez mais nutrientes, visto que a água evapora e os sais minerais presentes concentram-se cada vez mais, por não ter um afluente de saída.

A utilização racional dos corpos de água e sua conservação com relação à qualidade da água, com certeza é uma grande preocupação nos dias atuais, principalmente pela redução da disponibilidade hídrica, que é a crise deste século, no entanto, para o equilíbrio entre o uso e a conservação, conhecer os parâmetros físicos, químicos e biológicos que interagem nesses ecossistemas é de extrema importância (SARAIVA, 2012), principalmente para que se possam tomar atitudes de gestão que levem a uma melhor qualidade ambiental.

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

As maiores cidades do mundo, em sua maioria, localizam-se próximo a ambientes aquáticos, sejam rios, lagos ou lagoas, que servem como “deposição de esgotos gratuitos” (CHRISTOFOLETTI, 2008). A lagoa do Parque Sólon de Lucena, localizada na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba (PB), considerada um dos cartões-postais principais da cidade, é um dos ambientes nessa situação, ecossistema natural que há anos recebe constantes lançamentos de esgotos em suas águas (KOURY, 2019; PAZ, 1996). Desse modo, esta pesquisa tem como objetivo realizar um diagnóstico acerca da qualidade da água da lagoa do Parque Sólon de Lucena, localizada na cidade de João Pessoa, PB, Brasil e apresentar propostas de ações que levem a uma melhor qualidade de água.

METODOLOGIA

Objeto de estudo

Trata-se da Lagoa do Parque Sólon de Lucena, um dos espaços públicos mais conhecidos da cidade de João Pessoa, na Paraíba. A Lagoa se caracteriza como uma depressão natural (dolina) alimentada pelo escoamento das águas da chuva, com um volume de água armazenado de aproximadamente 67.016,05 m³, o qual diminuiu grandemente com o passar do tempo, em consequência do assoreamento, não havendo dados atualizados.

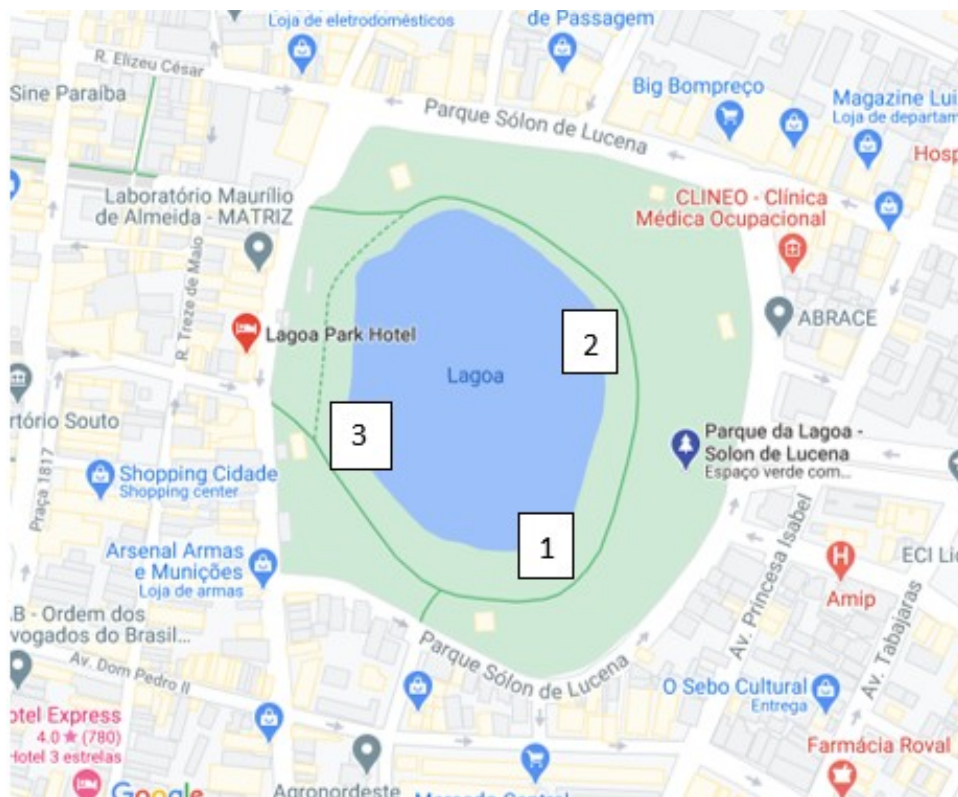
A Lagoa sofre com a intensa poluição de suas águas, em função da entrada de resíduos urbanos, principalmente através das galerias de águas pluviais, recebendo esgoto *in natura* do mercado central. Além disso, a eutrofização é um processo que aumenta gradativamente em ambientes fechados como lagoas. Em janeiro de 2021 verificou-se um episódio de mortandade de toneladas de peixes, o que motivou esta pesquisa.

Desse modo, foi realizado um diagnóstico acerca da qualidade da água da Lagoa, envolvendo parâmetros físicos, químicos e biológicos. As análises físicas e químicas não são suficientes para a análise da qualidade da água, devendo ser incorporados, portanto, como complemento às informações sobre os demais parâmetros analisados quanto à qualidade das águas, indicadores biológicos, ou bioindicadores, que indicariam o efeito dos poluentes sobre a biota aquática, uma vez que devido à sua sensibilidade podem ser tolerantes ou intolerantes às alterações do meio (ARIAS *et al.*, 2007; MAGALHÃES, 2007; HEGEL; MELO, 2016).

Coleta de dados

Na Lagoa do Parque Sólon de Lucena, foram retiradas amostras em 3 locais diferentes, sendo denominados ponto 1, ponto 2 (entrada de esgoto do mercado central) e ponto 3 (entrada de esgoto) (Figura 1). Todas as coletas foram realizadas no turno da manhã, entre 9 e 11 horas.

Figura 1 - Pontos de análise de água na Lagoa do Parque Sólon de Lucena.



Fonte: adaptado de site Google Maps (2021).

Para a realização do diagnóstico, foram coletadas amostras em três dias, em período de estiagem, por ser o período mais crítico: 29 de dezembro de 2021, 04 de janeiro de 2022 e 10 de janeiro de 2022. Em cada ponto foram coletadas 3 réplicas, totalizando 27 amostras para serem analisadas, para cada parâmetro. As amostras coletadas foram mantidas refrigeradas para posterior análise no Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Parâmetros de análise

Para a análise da qualidade da água, foram utilizados parâmetros físicos e químicos e os métodos definidos na Tabela 1 a seguir. As análises foram realizadas nos padrões estabelecidos no *Standard Methods for examination of water and wastewater* (APHA) (BAIRD *et al.*, 2017).

No que se refere aos parâmetros biológicos, foi realizada a análise da comunidade zooplânctônica, sendo utilizadas espécies bioindicadoras para auxiliar na caracterização da qualidade de água de acordo com a identificação de cada espécie, relacionando com as condições físicas e químicas da água. As contagens e identificação foram realizadas em microscópio óptico, com uma câmara de

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

contagem tipo Sedgwick Rafter, sendo contados no mínimo 100 indivíduos em cada réplica e os valores apresentados, em densidades, são a média de todas as réplicas por ponto amostral. Para a comunidade zooplanctônica, foi utilizado o Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H'), a fim de medir o grau de incerteza na previsão de a qual espécie um indivíduo irá pertencer, sendo considerado que quanto menor o valor do índice de Shannon, menor o grau de incerteza e, logo, menor a diversidade, do mesmo modo, quanto maior o valor do índice, mais alta será a diversidade (URAMOTO; WALDER; ZUCCHI, 2005; AMARAL et al., 2012).

Tabela 1. Parâmetros para análise física e química.

| Parâmetros físicos e químicos | Método |
|-------------------------------|---|
| Temperatura | Sonda multiparamétrica HORIBA |
| Oxigênio dissolvido | Sonda multiparamétrica HORIBA |
| pH | Sonda multiparamétrica HORIBA |
| Amônia | Método do indofenol (BAIRD <i>et al.</i> , 2017) |
| Nitrato | Método N-(1-naftil)-etilenodiamina (BAIRD <i>et al.</i> , 2017) |
| Nitrito | Método N-(1-naftil)-etilenodiamina (BAIRD <i>et al.</i> , 2017) |
| Ortofosfato | Método Azul de Molibdênio (BAIRD <i>et al.</i> , 2017) |
| Condutividade | Sonda multiparamétrica HORIBA |
| Transparência | Disco Secchi |

Fonte: elaborado pelos autores (2021).

Os parâmetros de temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade e transparência, foram realizados *in loco*, com o auxílio de sondas e disco de Secchi. Para as análises de nutrientes, as amostras coletadas foram mantidas refrigeradas e transportadas para análise no Laboratório de Ecologia Aquática LABEA, da UFPB, utilizando-se o espectrofotômetro 22PC na absorvância adequada para cada tipo de análise, após a inserção dos reagentes necessários de cada tipo de análise.

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos foram inicialmente analisados separadamente e gerados gráficos com o auxílio do Microsoft Excel, sendo realizadas as médias e desvios padrões de cada ponto analisado, para as três réplicas, e posteriormente foi realizada uma análise comparativa dos parâmetros, por meio de correlação múltipla, utilizando o software R Studio. A análise de correlação múltipla se baseia no índice de correlação de Pearson, que conforme Figueiredo Filho et al. (2014), trata-se de uma medida de associação linear entre variáveis quantitativas. O coeficiente de Pearson varia de -1 a 1, sendo o nível de associação mais forte quanto mais próximo de 1 ou -1, e menor quanto mais perto de zero. Uma correlação positiva indica que quando uma variável aumenta, a outra também aumenta, e uma correlação negativa indica que quando uma variável aumenta, a outra diminui (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014).

Para a apresentação de propostas foi realizado um levantamento bibliográfico em busca de biotratamentos, por serem estes menos impactantes ao ambiente.

Buscou-se algo que pudesse ser usado na prevenção, ou seja na retenção de nutrientes antes de chegarem na lagoa e na remediação, ou seja que fosse usado para melhorar a água da própria lagoa, que já se encontra eutrofizada, o que pode ser comprovado pela mortandade de toneladas de peixes, no ano anterior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diagnóstico inicial

A Lagoa do Parque Sólon de Lucena é um ambiente aquático natural, que recebe águas de escorrência da bacia de drenagem das áreas mais elevadas no entorno. Esgotos domésticos que chegavam na lagoa foram desviados em obras anteriores, no entanto, os resíduos líquidos que escoam a partir do mercado central em seu entorno continuam presentes. A partir da realização deste estudo foi possível constatar a entrada de esgoto em galerias (Figura 2) próximas a dois dos pontos analisados, o ponto 2 e o ponto 3, isso causa a entrada de nutrientes, contribuindo com a perda de qualidade da água.



Figura 2. Galeria pluvial com esgoto entrando na Lagoa, no ponto 3.

Foto: acervo dos autores (2022).

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

Análise de parâmetros físicos e químicos coletados *in loco*

Os resultados referentes à temperatura (°C), pH, condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), e transparência da água (cm), podem ser conferidos na Tabela 2 e figura 3. Os valores médios são referentes às três réplicas analisadas em cada ponto amostral.

Os valores de temperatura variaram entre 30 e 31,9°C, sendo mais baixa no dia 04 de janeiro, nos pontos 1 e 2 e mais elevada no dia 10 de janeiro no ponto 3. Valores elevados de temperatura em ambientes aquáticos é preocupante, porque o oxigênio torna-se insolúvel e com isso tende a sair da água para a atmosfera, principalmente em ambientes eutrofizados, em que já se verifica um elevado consumo deste gás pelos organismos decompositores. Isso pode causar anoxia no ambiente, levando à mortandade de peixes, o que se verificou neste ambiente em 2021. De acordo com Alvarenga et al. (2012), que em seu estudo identificaram valores altos de temperatura, tal aquecimento pode estar relacionado com o baixo fluxo das águas, somado à ausência de vegetação, o que causa elevada insolação.

Com relação ao pH, a Resolução do CONAMA 357/05, define o intervalo entre 6,0 e 9,0 para a proteção da vida aquática, desse modo, com exceção do ponto 3, no segundo e no terceiro dia de coleta, os demais pontos se mantiveram dentro do limite estabelecido. Faz-se necessário portanto uma maior atenção ao ponto 3, visto que o pH afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas, se o pH estiver fora do limite estabelecido, afeta o crescimento dos peixes, e valores acima de 10 podem acarretar mortalidades (LEIRA *et al.*, 2017), por valores elevados aumentarem a toxicidade da amônia. Silva et al. (2019) afirmaram que valores elevados de pH ($\text{pH}>7$) podem influenciar a ocorrência de incrustação nas águas para abastecimento. Conforme Esteves (1988), o pH é considerado um dos parâmetros mais importantes, no entanto, pode ser influenciado por uma grande quantidade de fatores, acarretando uma difícil interpretação.

É possível verificar uma alta condutividade nos três dias analisados, sendo mais elevadas nos pontos 2 e 3, os pontos em que foi identificada a entrada de esgotos. A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica, e está relacionada com a presença de íons dissolvidos na água; em águas menos poluídas, menor será a condutividade (SILVA; SOUSA; KAYANO, 2007). Valores altos indicam grau de decomposição elevado e valores baixos indicam menor decomposição ou acentuada produção primária (algas e microrganismos aquáticos), sendo, portanto, uma maneira de avaliar a disponibilidade de nutrientes em um ecossistema aquático (LEIRA *et al.*, 2017). Resultados semelhantes foram encontrados por De Almeida e Melo (2009), ao identificar altos valores para condutividade elétrica em seu estudo, os autores afirmaram que tais registros podem estar relacionados com os processos de decomposição de matéria orgânica que acarretam em liberação de nutrientes para a região estudada.

Tabela 1. Parâmetros físicos e químicos analisados.

| | | 29/12/21 | | 04/01/22 | | 10/01/22 | |
|----------------------------|----|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| | | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| Temperatura (°C) | P1 | 31,5 | 0,00 | 30,27 | 0,17 | 30,85 | 0,12 |
| | P2 | 30,9 | 0,00 | 30,33 | 0,11 | 30,52 | 0,33 |
| | P3 | 31,5 | 0,00 | 31,39 | 0,21 | 31,87 | 0,13 |
| pH | P1 | 6,83 | 0,14 | 8,56 | 0,03 | 9,05 | 0,11 |
| | P2 | 6,72 | 0,03 | 8,84 | 0,13 | 8,87 | 0,09 |
| | P3 | 6,97 | 0,25 | 9,77 | 0,04 | 10,04 | 0,28 |
| Condutividade (µS) | P1 | 359,43 | 4,41 | 436,33 | 1,53 | 433,00 | 1,00 |
| | P2 | 362,20 | 2,01 | 442,33 | 2,08 | 430,33 | 3,21 |
| | P3 | 359,93 | 2,57 | 445,67 | 13,61 | 435,00 | 13,89 |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) | P1 | 7,08 | 0,50 | 7,08 | 0,50 | 5,09 | 0,33 |
| | P2 | 4,25 | 0,50 | 4,25 | 0,50 | 2,15 | 0,91 |
| | P3 | 8,91 | 0,06 | 8,91 | 0,06 | 11,58 | 0,10 |
| Disco Secchi | P1 | 0,25 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,26 | 0,00 |
| | P2 | 0,26 | 0,00 | 0,27 | 0,00 | 0,24 | 0,00 |
| | P3 | 0,24 | 0,00 | 0,26 | 0,00 | 0,24 | 0,00 |

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

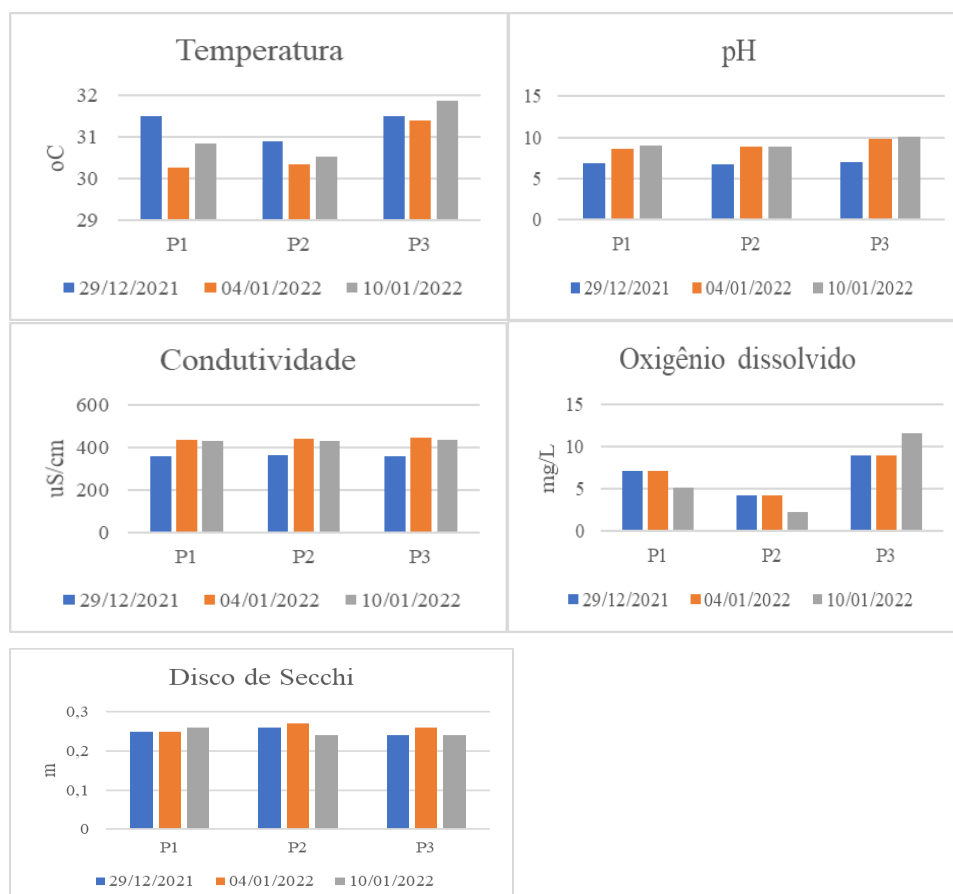


Figura 3. Parâmetros limnológicos medidos *in loco*, na Lagoa do Parque Sólton de Lucena, João Pessoa, PB. Fonte: elaborado pelos autores (2022).

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

A turvação da água, por sua vez, impede a penetração dos raios solares na coluna de água, dificultando assim a produção de oxigênio em camadas mais profundas, pela fotossíntese, logo, a transparência é um fator muito importante para o desenvolvimento de peixes (LEIRA *et al.*, 2017). De acordo com Queiroz et al. (2021), recomenda-se um valor entre 50 a 100 cm, desse modo, verificou-se que todos os pontos apresentaram valores referentes à transparência abaixo do que é recomendado.

Com relação ao oxigênio dissolvido (OD), o CONAMA em sua Resolução 357/05 define como $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ o valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) para a preservação da vida aquática. Constatou-se que, com exceção do ponto 2, os demais pontos apresentaram maiores concentrações de oxigênio dissolvido, sendo a maior no ponto 3, tal fato pode estar relacionado com o maior pH encontrado, visto que há tendência de aumento de pH onde ocorre mais fotossíntese, devido à absorção pelas algas do CO_2 . Corroborando esse dado, a temperatura também foi mais elevada no ponto 3 em comparação com os outros pontos analisados, e a temperatura tende a aumentar, quando tem mais material particulado na água, por absorver mais calor (ESTEVES, 1988), apesar dos valores de transparência não terem sido menores. Nogueira et al. (2008) ao analisarem lagos urbanos no município de Goiânia-GO, identificaram características semelhantes às da Lagoa do Parque Sólon de Lucena, como baixa transparência e elevados valores de oxigênio dissolvido, classificando os mesmos como eutróficos. Wiegand, Piedra e Araújo (2016) também registraram transparência reduzida das águas em seu estudo, no Açude Marengo, em clima semiárido, caracterizando o mesmo como de águas eutrofizadas.

Análise de nutrientes

Os resultados obtidos a partir dos parâmetros de nutrientes, podem ser verificados na Tabela 3 e figura 4. As concentrações de amônia foram menos elevadas no dia 04 de janeiro com valores médios entre $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$ nos pontos 1 e 2 e $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$ no P3. Nas outras datas alcançaram cerca de $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$, tanto no P1 quanto no P2.

A toxicidade da amônia varia em função do pH, ou seja, a concentração de amônia não ionizada (forma química mais tóxica) aumenta com a elevação do pH (CAMPOS *et al.*, 2012; LEIRA *et al.*, 2017). De acordo com Queiroz et al. (2021), a concentração letal de amônia para peixes em geral varia de $0,3$ a $3,8 \text{ mg.L}^{-1}$. Desse modo, verifica-se, em todos os pontos e dias analisados, que foram encontrados valores de amônia que podem impactar negativamente e provocar morte de peixes.

Com relação ao nitrito, a exposição contínua a concentrações sub-letais de nitrito ($0,3$ a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$) pode causar redução no crescimento e na resistência de peixes a doenças (LEIRA *et al.*, 2017). As menores concentrações de nitrito foram registradas no P2 em dezembro e 10 de janeiro, com valores de $0,49$ e $1,54 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Estes valores menos elevados já estão no limite ou acima dele,

os outros valores registrados alcançaram até 4,0 mg.L⁻¹, o que extrapola em muito os limites da sub letalidade.

Tabela 2. Parâmetros químicos (nutrientes).

| | | 29/12/21 | | 04/01/22 | | 10/01/22 | |
|--------------------------------------|----|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| | | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| Amônia (mg.L ⁻¹) | P1 | 0,818 | 0,10 | 0,459 | 0,06 | 0,809 | 0,15 |
| | P2 | 0,674 | 0,06 | 0,468 | 0,05 | 0,791 | 0,14 |
| | P3 | 0,549 | 0,21 | 0,640 | 0,33 | 0,520 | 0,05 |
| Nitrito (mg.L ⁻¹) | P1 | 2,154 | 0,07 | 3,692 | 0,14 | 2,239 | 0,16 |
| | P2 | 0,485 | 0,14 | 3,489 | 1,15 | 1,540 | 0,21 |
| | P3 | 3,952 | 0,13 | 3,440 | 0,31 | 2,293 | 0,73 |
| Nitrato (mg.L ⁻¹) | P1 | 1,137 | 0,36 | 1,869 | 0,07 | 1,295 | 0,36 |
| | P2 | 0,249 | 0,08 | 2,173 | 0,17 | 0,931 | 0,17 |
| | P3 | 1,844 | 0,38 | 1,86 | 0,48 | 1,151 | 0,36 |
| Ortofosfato (mg.L ⁻¹) | P1 | 1,353 | 0,14 | 0,997 | 0,10 | 1,326 | 0,15 |
| | P2 | 1,244 | 0,19 | 1,244 | 0,33 | 1,454 | 0,35 |
| | P3 | 1,344 | 0,16 | 1,646 | 0,47 | 1,728 | 0,34 |

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

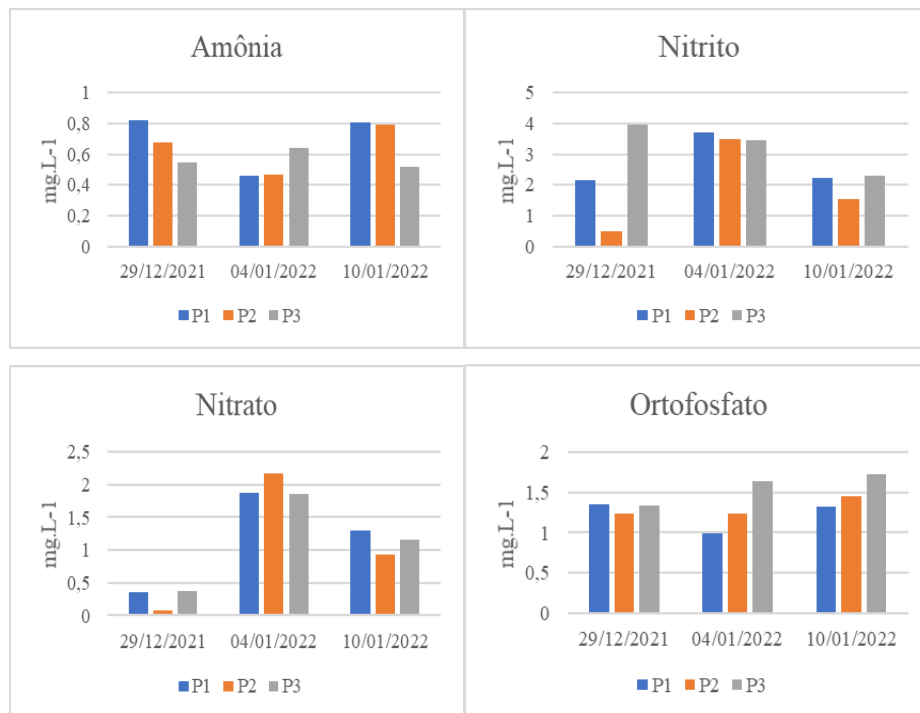


Figura 4. Compostos nitrogenados e ortofosfato nos 3 pontos amostrados na Lagoa do Parque Sólon de Lucena, João Pessoa, PB.

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

Essas elevadas concentrações podem ser resultado das baixas oxigenações, visto que o oxigênio é um gás necessário à nitrificação, em que a amônia é reduzida a nitrato, tendo o nitrito como produto intermediário. Com baixo oxigênio dissolvido, o nitrito não chegou a nitrato. Isso foi especialmente sentido no dia 04 de janeiro, em que as concentrações de oxigênio foram as mais baixas (Fig. 3) e as de nitrito entre as mais elevadas (Fig. 4). O nitrito é o produto intermediário da transformação da amônia em nitrato, e suas concentrações estão relacionadas com a decomposição de componentes das proteínas da matéria orgânica (LEIRA *et al.*, 2017). O nitrito é uma forma nitrogenada altamente tóxica para organismos aquáticos, assim, sua presença no meio aquático, em elevadas concentrações, pode causar mortalidade significativa desses organismos (CAMPOS *et al.*, 2012). Já o nitrato é um composto nitrogenado que não é tóxico para os peixes, mesmo em elevadas concentrações (CAMPOS *et al.*, 2012; LEIRA *et al.*, 2017).

As concentrações de nitrato foram mais elevadas no dia 04 de janeiro e menos elevadas em dezembro. Isso significa que as concentrações de nitrito ainda seriam mais elevadas se a oxigenação fosse ainda menor, visto que estas foram mais elevadas a 04 de janeiro, e mesmo assim o nitrito reduziu-se a nitrato, que apresentou neste dia concentrações mais elevadas, comparadas com os outros dias de amostragem.

As baixas concentrações de nitrato em dezembro podem estar associadas a aumentos de fitoplâncton, visto que as concentrações de oxigênio foram mais elevadas que a 04 de janeiro, logo não foram limitantes aos processos de nitrificação.

O ortofosfato variou entre 1,0 e 1,7 mg.L⁻¹, sendo mais elevado em geral no P3. As concentrações menos elevadas foram registradas no P1 no mês de janeiro, em dezembro todos os pontos apresentaram concentrações semelhantes (Fig. 4).


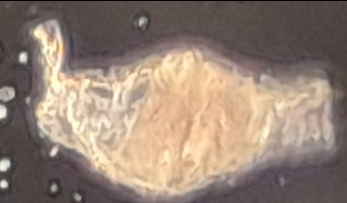



Análise de bioindicadores: comunidade zooplanctônica

No que se refere aos parâmetros biológicos, foram encontradas 36 espécies de quatro grupos (Rotifera, Copepoda, Cladocera e Diptera), sendo a maior diversidade (66,67%) pertencente ao grupo Rotifera, em que o grupo Bdelloidea foi o mais abundante, com densidades de até cerca de 42 ind.L⁻¹ no dia 4 de janeiro de 2022, no P1 (Fig. 5). Na Tabela 4 pode-se observar imagens das espécies identificadas na Lagoa com as maiores densidades nos pontos analisados.

Perbiche-Neves *et al.* (2016) afirmaram que o uso de rotíferos como bioindicadores deve ser cuidadoso devido aos resultados contrastantes que podem ser encontrados na literatura. Conforme Coelho e Botelho (2003) a predominância de rotíferos é constantemente relacionada com uma alta eutrofização, no entanto, na maioria dos ambientes aquáticos do Brasil, como lagos, por exemplo, a dominância de rotíferos é frequente, independentemente do estado trófico. Da Silva *et al.* (2019), por sua vez, afirmam que tal

predominância, pode ser relacionada com a presença de impactos antrópicos, estando ambientes com maiores concentrações de nutrientes mais sujeitos a apresentar uma maior densidade de rotíferos.

Tabela 4. Espécies do Zooplâncton com maiores densidades encontradas na Lagoa do Parque Sólon de Lucena, João Pessoa.

| Comunidade zooplanctônica predominante | | |
|--|--------------------------------|--|
| ROTIFERA | <i>Brachionus calyciflorus</i> |  |
| | Bdelloidea |  |
| | <i>Trichocerca</i> sp. |  |
| COPEPODA | Cyclopoida adulto |  |
| | Náuplio |  |

Fotos: autores (2023).

Desse modo, de acordo com Perbiche-Neves et al. (2016), dentre os rotíferos, apenas a elevada riqueza de Brachionidae pode ser apontada como indicador de condições eutróficas. Esta afirmação pode ser corroborada pelo estudo de De Araújo e Nogueira (2016), que afirmaram que o gênero *Brachionus* é utilizado como indicador de ambientes eutrofizados. Para De-Carli et al. (2018), o rotífero

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

Trichocerca também tem preferência por ambientes eutrofizados, e já com relação aos copépodes, conforme os autores, a alta abundância de estágios iniciais, como os náuplios e copepoditos de cyclopoida, trata-se de uma estratégia adaptativa para compensar a alta mortalidade antes de alcançarem a fase adulta. No entanto, a abundância dessas espécies e estágio naupliar nas amostras da Lagoa do Parque Sólon de Lucena permitem alegar que o ambiente se encontra eutrofizado. Isso pode também ser corroborado pela grande mortandade de peixes registrada em 2021.

A análise revela baixa densidade de organismos, sendo os náuplios de Copepoda os mais abundantes, com uma densidade de 55 ind.L⁻¹ no P3, seguido pelo Rotífera, *Brachionus calyciflorus* com 27 ind.L⁻¹ no P1 (Fig. 5). Apenas uma espécie de Cladocera foi registrada, *Diaphanosoma*, em baixas densidades (0,2 ind.L⁻¹). As baixas densidades podem ser o resultado da presença de grande quantidade de tilápias (*Oreochromis niloticus*) que são peixes planctívoros e se alimentam de zooplâncton (VICENTE; FONSECA-ALVES, 2013), visto que as condições ambientais permitiriam maiores densidades de zooplâncton, por ser um ambiente bastante produtivo, o que pode ser comprovado pelas elevadas concentrações de nitrato e fosfato.

Rotífera

O Ponto P1, em 29 de dezembro, foi o que apresentou menor diversidade de Rotífera, com apenas Bdelloidea e *Brachionus calyciflorus*. Ambos são indicadores de águas eutrofizadas. No entanto, *B. urceolaris* é mais resistente a águas eutrofizadas e foi mais abundante no P3, principalmente no dia 10 de janeiro, com cerca de 2,0 Ind.L⁻¹. O restante das espécies não alcançou essa densidade.

Analisando os cladóceros verifica-se que a espécie mais abundante foi *Moina minuta*, no P2 (Fig. 6). Esta espécie é indicadora de ambientes mais eutrofizados (VIEIRA, 2018). As densidades das duas espécies presentes foram muito baixas, Cladocera são microcrustáceos facilmente predados por predadores visuais (CRISPIM; BOAVIDA, 2001) como as tilápias, peixe predominante na Lagoa do Parque Sólon de Lucena. *Diaphanosoma* por outro lado foi mais abundante nos pontos P1 e P3, esta espécie é indicadora de águas menos eutrofizadas (VIEIRA et al., 2011), no entanto, por ser mais transparente, é menos visível a predadores visuais, o que pode ter favorecido a sua presença na lagoa pesquisada. Crispim, Araújo e Melo Júnior (2013) registraram a presença de *D. spinulosum* e de Copepoda Calanoida em um açude eutrofizado com a presença de tilapicultura em tanques-rede, demonstrando que esta espécie pode estar presente também em ambientes eutrofizados, apesar de geralmente indicar águas com estado trófico menos evoluído. Verificou-se também que o dia 04 de janeiro havia menor presença de Cladocera e apenas de *Moina*, com baixas densidades, o que pode indicar que nesse dia o ambiente se encontrava menos adequado. Na realidade, nesse dia as concentrações de nitrito estavam mais elevadas em todos os pontos amostrais, isso pode ter sido um fator limitante, visto que esse composto é tóxico (RODRIGUES et al., 2013).

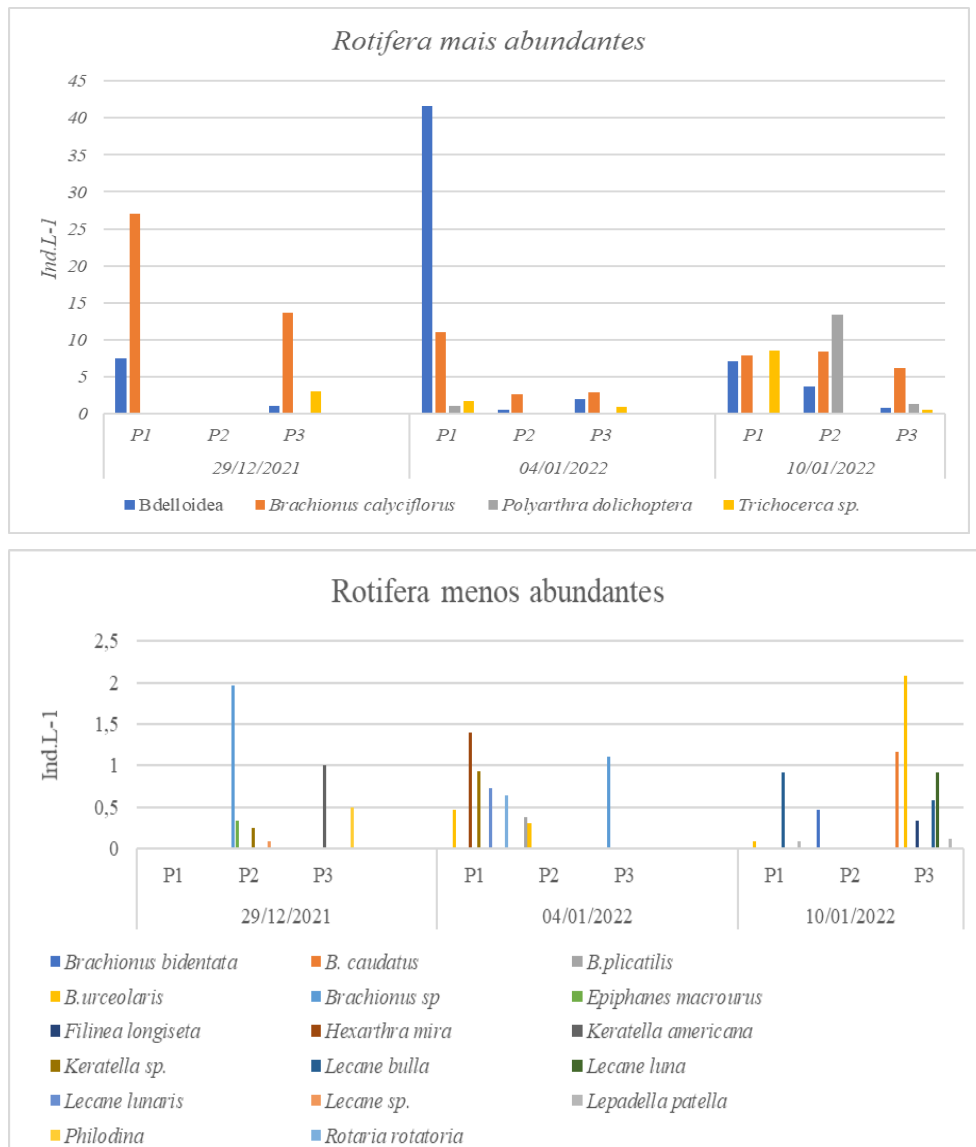


Figura 5. Densidades de espécies de Rotífera nos três pontos analisados da Lagoa do Parque Sólton de Lucena, João Pessoa, PB, ao longo do período de estudo.

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Entre os Copepoda as suas formas larvares naupliares foram as mais abundantes (Fig. 7A). Quanto mais abundantes os náuplios de Copepoda, maior a indicação de ambientes mais eutrofizados. Sendo assim, o ambiente esteve mais eutrofizado no dia 10 de janeiro, principalmente no P2 (Fig. 7 A), em que as densidades de náuplios foram as mais elevadas do período de estudo com 217,3 Ind.L⁻¹. No dia 29 de dezembro aumentou do P1 para o P3 a densidade de náuplios, mostrando que este ponto estava mais eutrofizado, enquanto que no dia 04 de janeiro

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

reduziu no P3 essa densidade. Em seguida, os organismos com densidades mais elevadas foram os copepoditos de Ciclopoida, mas com densidades muito menos elevadas, com 10,5 Ind.L⁻¹ (Fig. 7B). A Classe Ciclopoida é também um indicador de águas mais eutrofizadas, e verificou-se que tanto nos juvenis (copepoditos) quanto nos adultos esta foi a Classe mais abundante na lagoa, reforçando mais uma vez o elevado estado trófico da lagoa analisada.

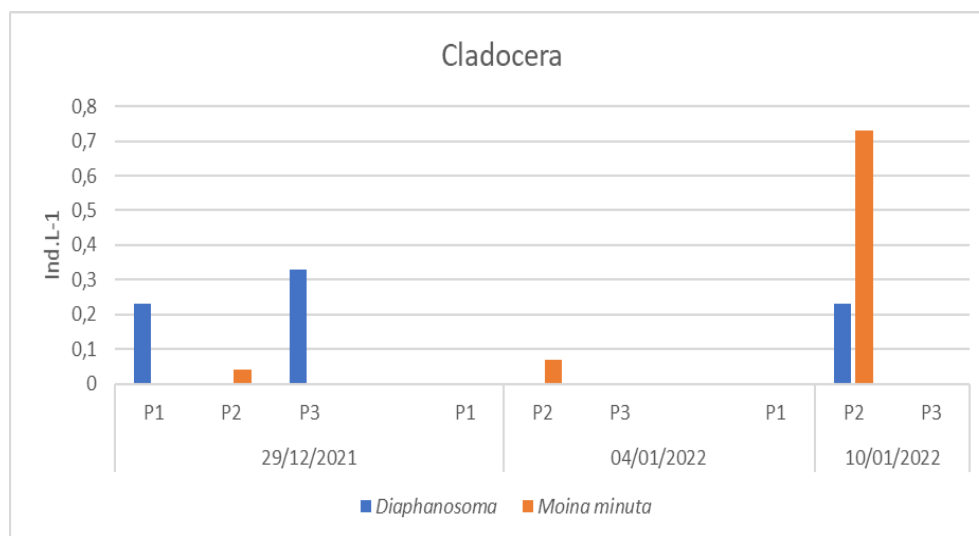


Figura 6. Densidades de Cladocera nos 3 pontos analisados na Lagoa do Parque Sólón de Lucena, ao longo do período de estudo.

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

A redução nas densidades de Copepoda no dia 04 de janeiro indica também que o ambiente apresenta uma limitação ao crescimento dos microcrustáceos, o que pode ter sido o que foi dito acima concentrações de nitrito elevadas. Calanoides adultos presentes a 29 de Dezembro, demonstram melhor qualidade de água nesse período. As densidades mais elevadas de copepoditos de ciclopoide no dia 10 de janeiro, demonstra o aumento do estado trófico nessa data, ou seja, um aumento ao longo do tempo.

Analisando por ponto e por dia de coleta, juntando todos os grupos do zooplâncton, verifica-se que há alterações na dominância dos grupos, ao longo do tempo. Por exemplo, no P1 a 29 de dezembro a maior abundância foi do rotífero *B. calyciflorus* e em janeiro foi de náuplios, enquanto que no dia 04 de janeiro, os rotíferos *Bdeloidea* co dominaram com os náuplios de Copepoda (Fig. 8). Isso revela um aumento de estado trófico ao longo do período analisado, e como num curto período de tempo, cerca de 13 dias as comunidades podem se alterar, adequando-se às mudanças na qualidade de água, revelando que são bons bioindicadores de qualidade ambiental.

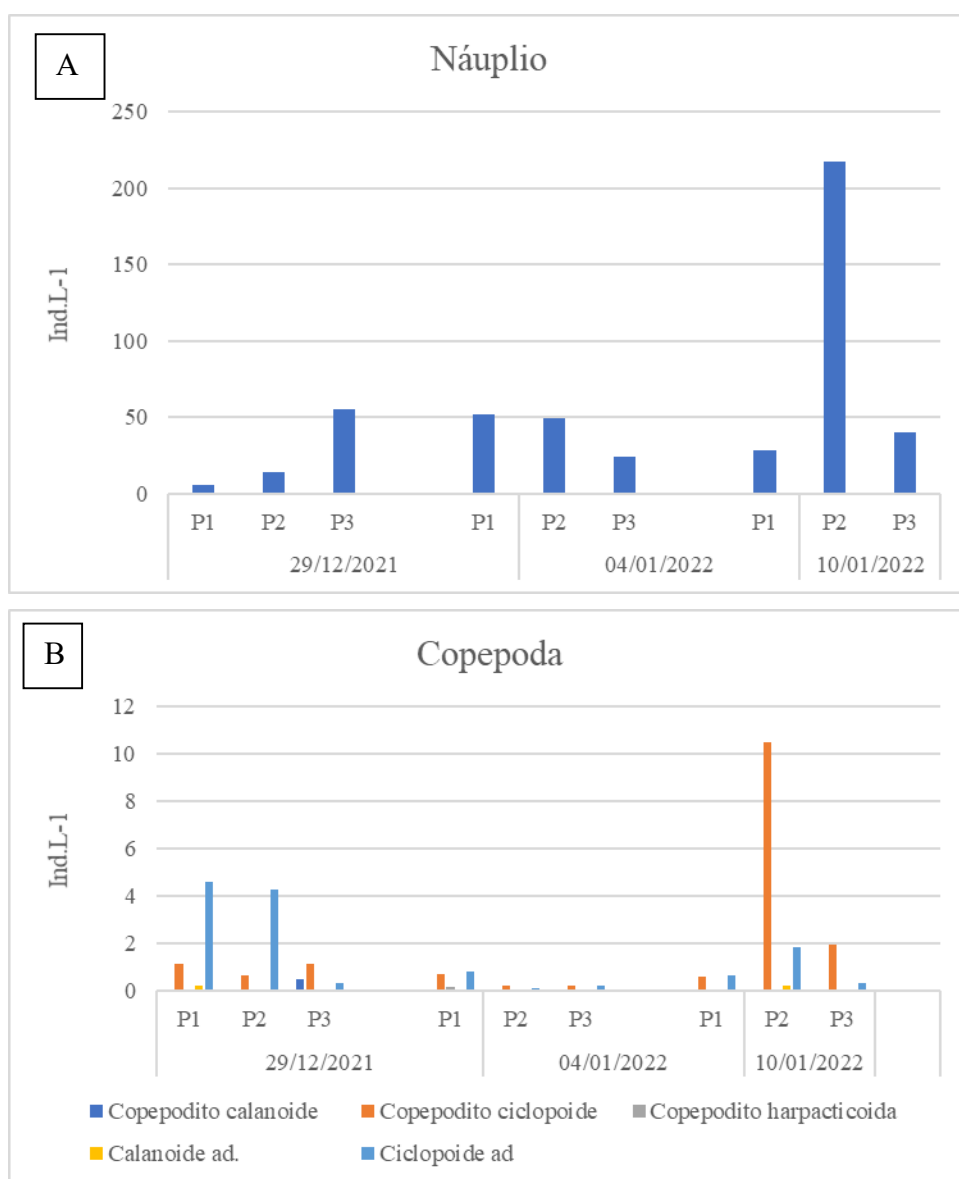


Figura 7. Densidades de náuplios (A) e copéodos juvenis e adultos (B), na Lagoa do Parque Sólon de Lucena, João Pessoa, ao longo do período de estudo. Fonte: elaborado pelos autores (2023).

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

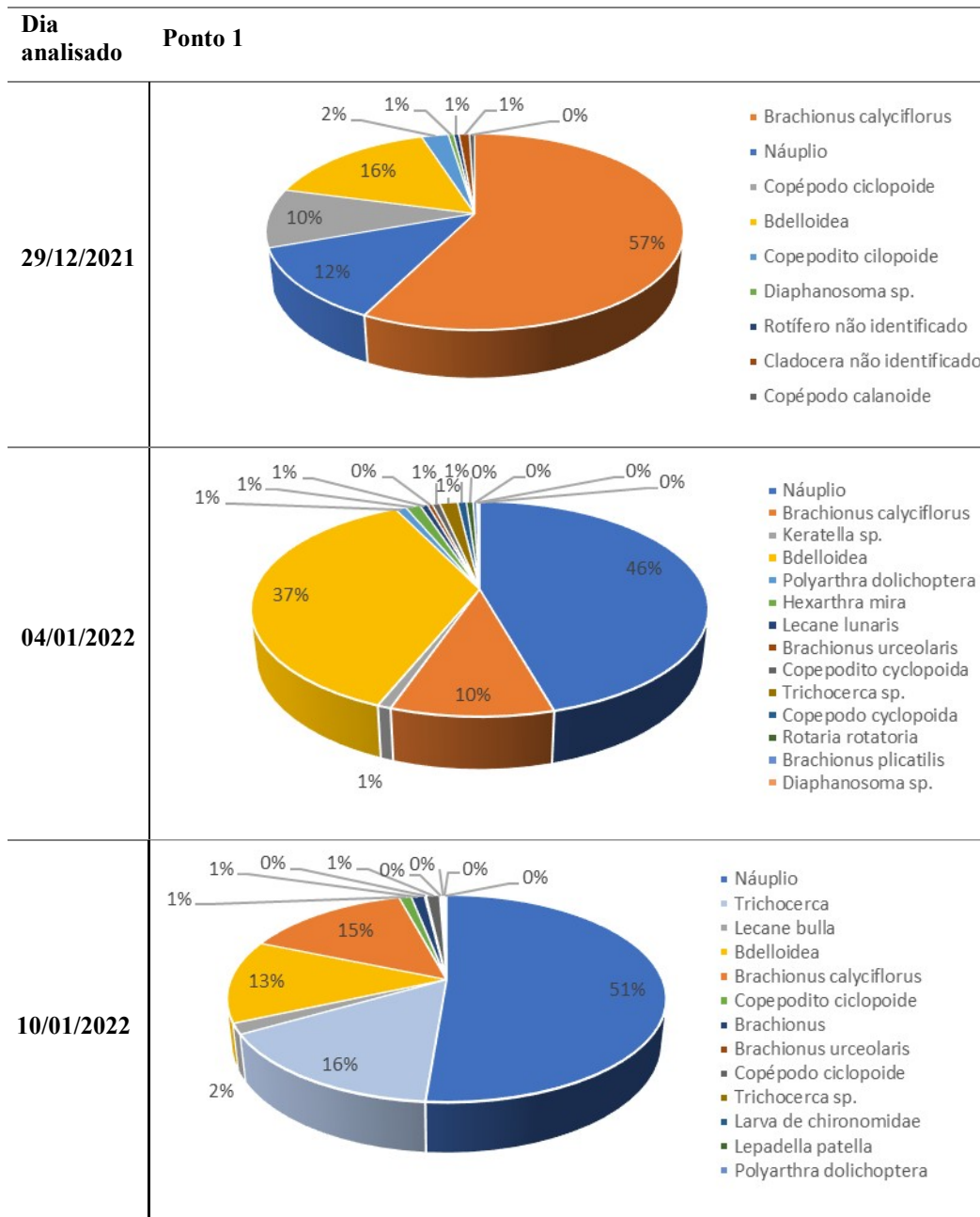


Figura 8. Abundância relativa de organismos do zooplâncton no P1, da Lagoa do Parque Sólon de Lucena, João Pessoa, ao longo do período de estudo.

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

No Ponto 2 a dominância de organismos zooplanctônicos foi sempre de náuplios (Fig. 9), que são indicadores de águas mais eutrofizadas, quando em maiores densidades, comparando com os outros grupos. Neste ponto a abundância foi

sempre de 60 a 93%, enquanto que no P1, não passou de 57%, demonstrando um maior desequilíbrio ambiental no P2, baseado na comunidade zooplânctônica. Isso comprova o maior impacto nesse local que recebe o esgoto do mercado central, no Centro de João Pessoa. Neste ponto na sequência teve Copepoda Ciclopoida adultos com 19%, no dia 29 de dezembro, *Brachionus calyciflorus* no dia 04 de janeiro e *Polyarthra dolicoptera* no dia 10 de janeiro.

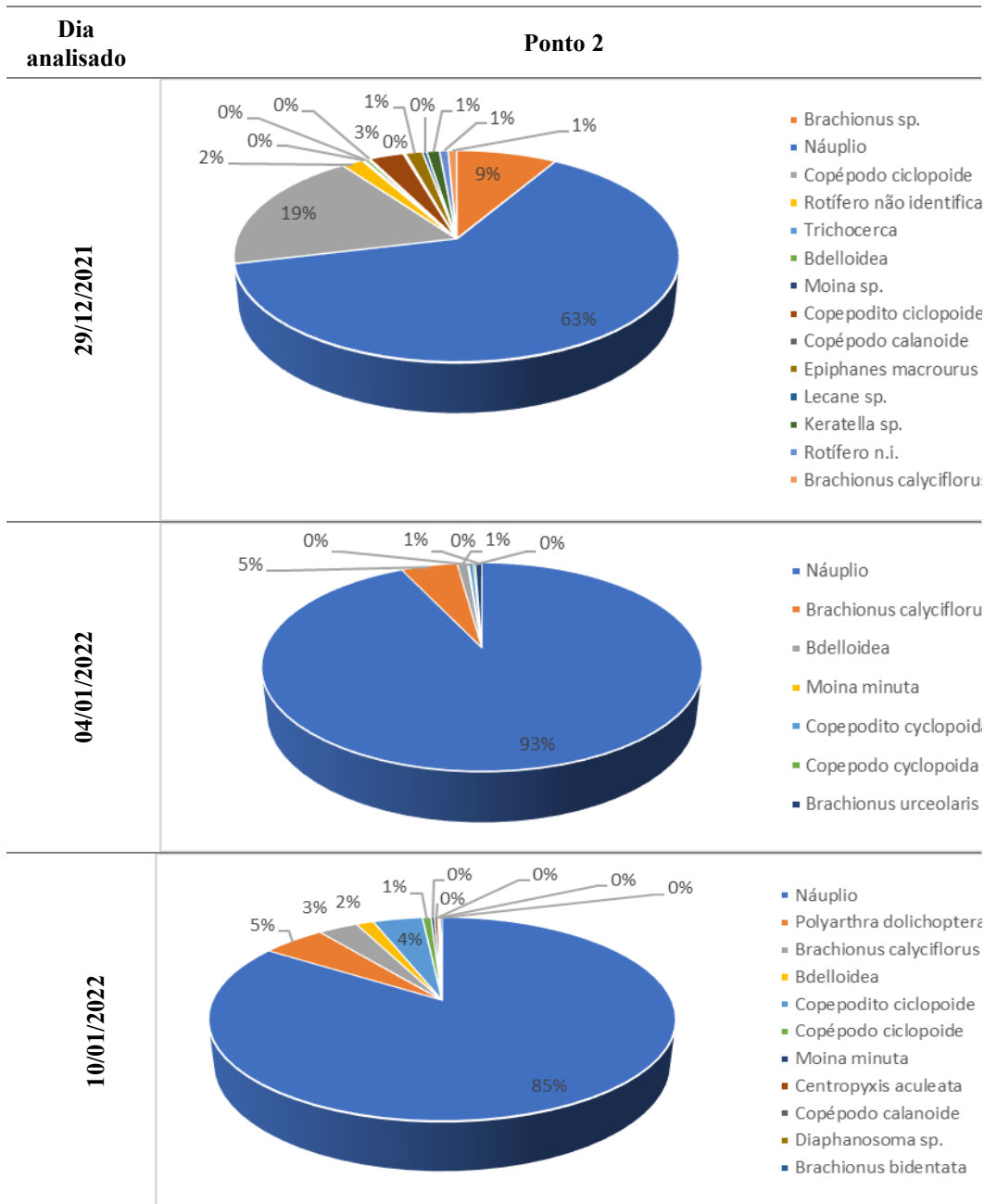


Figura 9. Abundância relativa de organismos do zooplâncton no P2 da Lagoa do Parque Sólon de Lucena, João Pessoa, ao longo do tempo analisado. Fonte: elaborado pelos autores (2023).

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

No Ponto 3 as densidades de náuplios foram mais elevadas que no P1 e menos elevadas que no P2, demonstrando uma situação intermediária de estado trófico entre o P1 e P2, mas ainda apresentaram abundâncias relativas elevadas entre 62 e 76%, sendo mais elevadas no dia 04 de janeiro, mês em que se verificaram condições de estresse ambiental para os microcrustáceos (Cladocera e Copepoda). *B. calyciflorus* foi a segunda espécie mais abundante em todas as datas analisadas. Ambos representam ambientes eutrofizados, no entanto a maior abundância desta espécie no dia 29 (16%) (Fig. 10) demonstra melhor qualidade ambiental neste dia.

Ao analisar o índice de Shannon (Fig. 11), é possível verificar uma maior diversidade no P1, revelando ser este o ponto mais equilibrado, em termos de qualidade de água, e menor diversidade de espécies no ponto 2, revelando pior qualidade ambiental, nos três dias analisados, corroborando com os parâmetros da análise física e química, em que foi possível identificar uma maior concentração dos parâmetros limnológicos neste ponto. O P3 apresentou uma condição ambiental intermediária entre o P1 e o P2.

Análise comparativa dos parâmetros físicos e químicos versus comunidade zooplanctônica

Ao realizar a correlação múltipla entre variáveis, foi possível obter o gráfico representado na Figura 12, na qual verifica-se a existência ou não de correlação, e se a mesma se trata de uma correlação positiva ou negativa. Através das análises de correlação foi possível identificar correlações significativamente positivas entre algumas espécies do zooplâncton e indicadores ambientais, por exemplo entre *Trichocerca* sp. e as concentrações de amônia ($p = 0,023$), Chironomidea e nitrato ($p = 0,015$), Bdeloidea e Chironomidae e pH (0,034 e 0,024, respectivamente), Bdeloidea, Chironomidea e *Diaphanosoma* e condutividade ($p = 0,008$, 0,027, 0,020, respectivamente), *Diaphanosoma* sp. e pH ($p = 0,006$). Também se registraram correlações positivas entre organismos, como a correlação significativamente positiva entre Chironomidea e Bdeloidea ($p = 0,006$) e *Trichocerca* sp. e *Hexarthra mira* ($p = 0,014$).

A maior parte das correlações entre espécies/grupos e indicadores de qualidade ambiental corroboram essas espécies como relacionadas com águas mais poluídas (amônia, nitrato e condutividade) como o grupo de Rotifera Bdeloidea, a espécie de Rotifera *Trichocerca* e *Hexarthra mira* e as larvas de Insecta Chironomidea.

**Dia
analisado**

Ponto 3

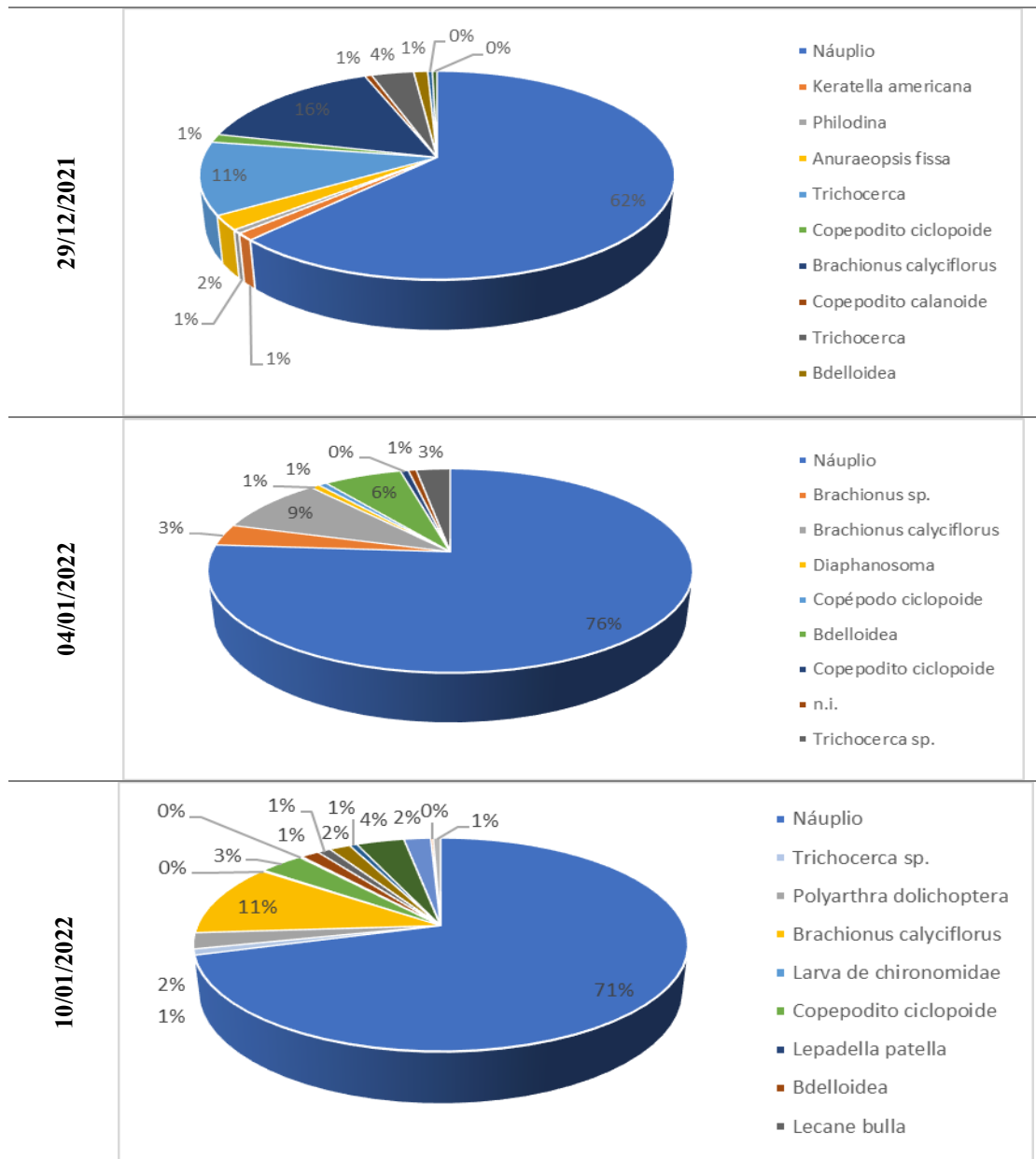


Figura 10. Densidade relativa de zooplâncton no ponto 3 da Lagoa do Parque Sólón de Lucena, João Pessoa, ao longo do tempo analisado.

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

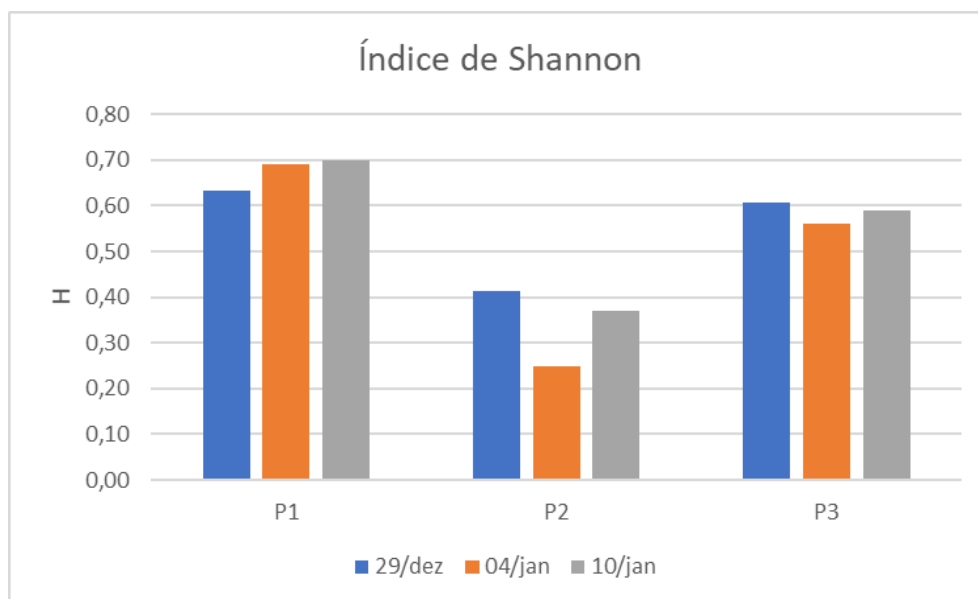


Figura 11. Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H') para a comunidade zooplânctônica da lagoa do Parque Sólón de Lucena, João Pessoa, PB.

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

PROPOSTAS PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para melhorar a qualidade de água de um ambiente aquático faz-se necessário detectar os impactos e tentar reduzi-los, por um lado reduzir a entrada, e por outro reduzir os que já tem no ambiente. O maior impacto detectado na lagoa é a entrada de esgoto não tratado oriundo do Mercado Central, é importante que este seja reencaminhado para uma Estação de Tratamento de Esgoto. Outras alternativas como o tratamento descentralizado de esgotos por meio de TEWetlands (UFPB, 2022) também pode resolver o problema e evitar a entrada de esgotos na Lagoa do Parque Sólón de Lucena em João Pessoa. Estes sistemas de tratamento ecológico de esgoto geram um efluente com água de qualidade para reuso, clarificada (Fig. 12), com baixa quantidade de nutrientes, sem parasitas, que poderá ser lançado diretamente na lagoa sem causar o impacto que é gerado atualmente.

Outra proposta que poderá ser aplicada na lagoa é a inserção de um sistema de biorremediação com a estimulação de aumento da comunidade do biofilme, com a inserção de módulos com cortinas de polietileno, que já foram aplicadas com sucesso na despoluição do Açude Manoel Marcionilo, Taperoá e no Rio do Cabelo, João Pessoa (Fig. 13), pela equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Federal da Paraíba (OLIVEIRA, 2020).

Como pode ser visto nas duas propostas, o tratamento ecológico de esgoto tornaria a entrada do efluente do Mercado Central com melhor qualidade na Lagoa, e o biotratamento por biorremediação na própria lagoa poderia reverter o

estado trófico em que se encontra atualmente, reduzindo o risco de mortandade de peixes, como se verificou em 2019.

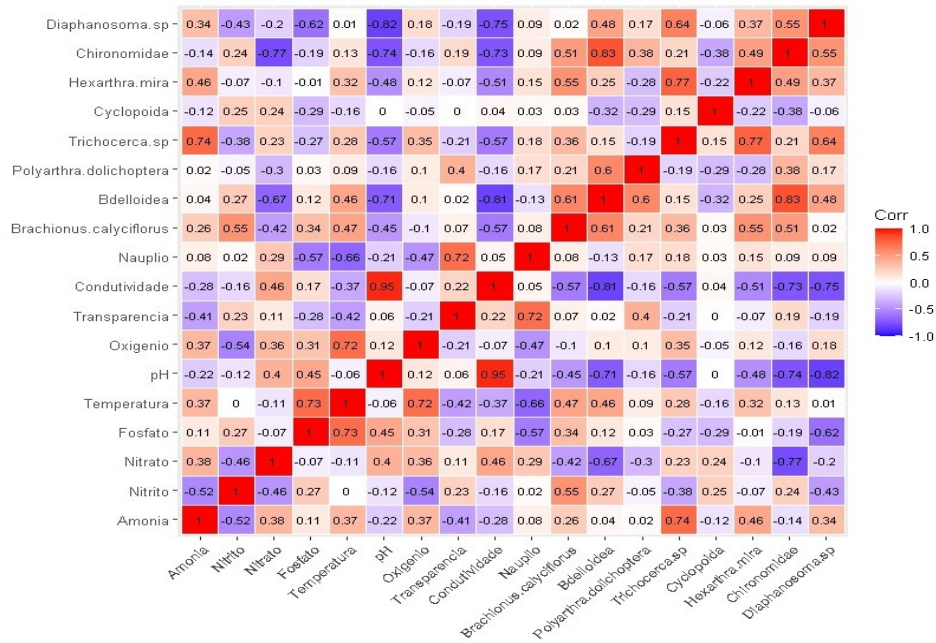


Figura 11. Correlação entre variáveis físico-químicas e comunidade zooplânctônica. Fonte: elaborado pelos autores (2024).



Figura 12. Água do efluente de um TEWetland, sendo monitorada, para mostrar a sua qualidade. Fonte: UFPB (2022).

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.



Figura 13. Rio do Cabelo antes (à esquerda) e depois (à direita) da inserção de sistema de biotratamento com biorremediação utilizando a comunidade de biofilme.

Fonte: Oliveira (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo realizou um diagnóstico acerca da qualidade da água da Lagoa do Parque Sólon de Lucena, localizada na cidade de João Pessoa, PB. Foram realizadas três coletas, nos dias 29 de dezembro de 2021, 04 de janeiro de 2022 e 10 de janeiro de 2022, em três pontos, denominados como ponto 1, ponto 2 e ponto 3, sendo analisados parâmetros físicos, químicos e a comunidade zooplanctônica. Este é o período de estiagem na região, representando a pior situação ambiental ao longo do ano.

Das análises físicas e químicas, identificou-se que os pontos 2 e 3 foram os pontos que apresentaram concentrações mais elevadas de nitrito e ortofosfato, sendo estes os pontos que também apresentaram uma menor diversidade de espécies na análise da comunidade zooplanctônica. A perda de qualidade da água nestes dois pontos, está relacionada com a entrada de esgoto em galerias próximas, no ponto 2 oriundo do Mercado Central e no ponto 3 da região da parada de ônibus e área de entorno.

Da análise da comunidade zooplanctônica, ao total, foram encontradas 36 espécies de três grupos (Rotifera, Cladocera, Copepoda não foram identificados ao nível de espécies, apenas Ordem), sendo a maior diversidade pertencente ao grupo Rotifera (66,67%). Dentre os grupos, destacaram-se as espécies *Brachionus calyciflorus*, *Bdelloidea* e *Trichocerca*, do grupo Rotifera, e a Ordem Cyclopoida e seus estágios naupliares, do grupo copépoda. A maior abundância deste grupo revela um ambiente eutrofizado, no entanto, foi possível verificar que o P2 é o mais eutrofizado, seguindo pelo P3 e depois pelo P1, que apresentou melhor qualidade entre os três. O mês de dezembro foi também o que apresentou melhor qualidade de água.

Desse modo, ao comparar os valores encontrados nas análises físicas e químicas e da comunidade zooplanctônica com os valores recomendados e com a literatura, pode-se considerar que o ambiente aquático da Lagoa do Parque Sólon de Lucena se encontra eutrofizado e os pontos mais críticos são os que recebem esgoto sem tratamento.

A Lagoa do Parque Sólon de Lucena precisa de ações que promovam a melhoria da sua qualidade da água, visto a importância da mesma para a cidade de João Pessoa, a qual é tida como cartão postal da cidade e pertencente a um parque no ponto central da cidade, que é frequentado por turistas e moradores, além de ser um local frequentemente utilizado para realização de eventos. O tratamento de esgotos do Mercado Central é primordial.

A outra solução, de inserir um sistema de biorremediação com a promoção do aumento da comunidade de biofilme será realizada no âmbito da sequência desta pesquisa, e fará parte do doutorado da primeira autora.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a PROPESQ/UFPB pelo apoio financeiro dado ao projeto no Edital Produtividade em pesquisa – PROPESQ/PRPG/UFPB Nº 03/2020.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, L. A. et al. Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul-São Paulo, após ações de preservação ambiental. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 228-240, 2012.

AMARAL, L. de P. et al. Variabilidade espacial do índice de diversidade de Shannon-Wiener em Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis (Brazil)**, v. 41, n. 97, 2012.

COELHO-BOTELHO, M. J. **Dinâmica da Comunidade Zooplanctônica e sua Relação com o Grau de Trofia em Reservatórios**. V Simpósio e IV Reunião e Avaliação do Programa Biota/Fapesp. CETESB, 2003.

CRISPIM, M. C.; BOAVIDA, M. J. Impacto da predação por peixes e copépodes na comunidade zooplanctônica do reservatório do Maranhão (Portugal). **Revista Nordestina de Biologia**, p. 49-67, 2001.

DA SILVA, A. J. et al. Rotifera de reservatórios com diferentes exposições antrópicas em um fragmento protegido de mata atlântica. **Oecologia Australis**, v. 23, n. 2, 2019.

DE ALMEIDA, F. F.; MELO, S. Considerações limnológicas sobre um lago da planície de inundação amazônica (lago Catalão-Estado do Amazonas, Brasil). **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 31, n. 4, p. 387-395, 2009.

FARIAS, L. M. S.; da SILVA, M. C. B. G.; ADLOFF, MARINHO, R. S. de A.

DE ARAÚJO, A. P.; NOGUEIRA, E. M. de S. Zooplâncton como bioindicador das águas do reservatório natural do povoado olhos d'água do Souza, Glória, Bahia, Brasil. **Revista Ouricuri**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 001–016, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/ouricuri/article/view/3168>. Acesso em: 20/01/2024.

DE-CARLI, B. P. et al. Comunidade zooplanctônica e sua relação com a qualidade da água em reservatórios do Estado de São Paulo. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 108, p. e2018013, 2018.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnoquímica**. Rio de Janeiro: Interciência, 1988. 575p.

NOGUEIRA, I. DE S. et al. Diversidade (alfa, beta e gama) da comunidade fitoplanctônica de quatro lagos artificiais urbanos do município de Goiânia, GO. **Hoehnea**, v. 35, n. 2, p. 219–233, abr. 2008.

PERBICHE-NEVES, G. et al. Relations among planktonic rotifers, cyclopoid copepods, and water quality in two Brazilian reservoirs. **Lat. Am. J. Aquat. Res.**, **Valparaíso**, v. 41, n. 1, p. 138-149, mar. 2013.

QUEIROZ, J. F. et al. Recomendações práticas para avaliação da qualidade da água na produção de tilápia em tanques-rede. **Embrapa Meio Ambiente-Circular Técnica** (INFOTECA-E), 2021.

RODRIGUES, A. P. O. et al. **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos**. 2013.

SILVA, J. P. et al. Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). **Scientia Plena**, v. 15, n. 12, 2019.

URAMOTO, K.; WALDER, J. M. M.; ZUCCHI, R. A. Análise quantitativa e distribuição de populações de espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) no campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 33-39, 2005.

VICENTE, I. S.; FONSECA-ALVES, C. E. Impact of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on non-native aquatic ecosystems. **Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS**, v. 16, n. 3, p. 121-126, 2013.

VIEIRA, A. C. B. et al. Population dynamics of *Moina minuta* Hansen (1899), *Ceriodaphnia cornuta* Sars (1886), and *Diaphanosoma spinulosum* Herbst (1967) (Crustacea: Branchiopoda) in different nutrients (N and P) concentration ranges. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 23, p. 48-56, 2011.

VIEIRA, D. M. **Aquicultura familiar: contribuições para a sustentabilidade**. 2018. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB. 2018.

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. C. DE. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 415–424, abr. 2016.

Contato com o autor: Luana Marques Souza Farias <luanamarques.sf@hotmail.com>

Recebido em: 19/07/2024

Aprovado em: 20/12/2024