



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANDERSON CAIO NASCIMENTO PEREIRA

**INFLUÊNCIA DOS IMPACTOS ANTRÓPICOS NO TAMANHO DO CORPO DE
INSETOS MACROBENTÔNICOS EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

CAMPINA GRANDE-PB

2024

ANDERSON CAIO NASCIMENTO PEREIRA

**INFLUÊNCIA DOS IMPACTOS ANTRÓPICOS NO TAMANHO DO CORPO DE
INSETOS MACROBENTÔNICOS EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao Departamento do Curso
Ciências Biológicas da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Ecologia

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Joseline Molozzi

Co-orientadora: Dalescka Barbosa de Melo

CAMPINA GRANDE-PB

2024

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

P436i Pereira, Anderson Caio Nascimento.

Influência dos impactos antrópicos no tamanho do corpo de insetos macrobentônicos em reservatórios do semiárido [manuscrito] / Anderson Caio Nascimento Pereira, Dalescka Barbosa de Melo, Joseline Molozzi. - 2024.
28 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2024.

"Orientação : Prof. Dra. Joseline Molozzi, Departamento de Biologia - CCBS".

"Coorientação: Prof. Ma. Dalescka Barbosa de Melo, de Biologia".

1. Bioindicadores. 2. Estrutura funcional. 3. Poluição. 4. Biomonitoramento. I. Título

21. ed. CDD 577

ANDERSON CAIO NASCIMENTO PEREIRA

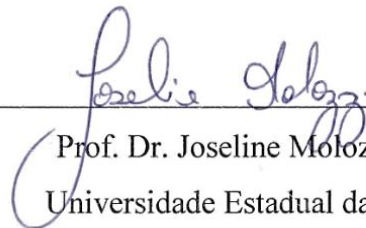
INFLUÊNCIA DOS IMPACTOS ANTRÓPICOS NO TAMANHO DO CORPO DE
INSETOS MACROBENTÔNICOS EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO

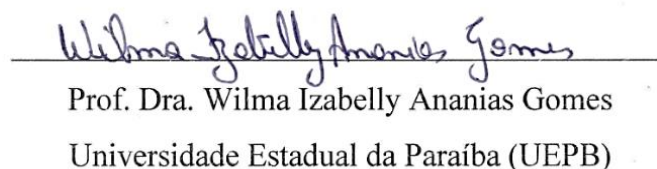
Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao Departamento do Curso
Ciências Biológicas da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

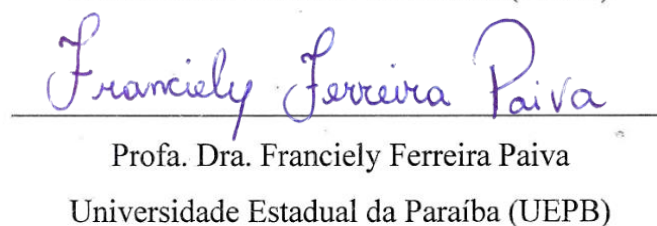
Área de concentração: Ecologia

Aprovada em: 21 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Joseline Molozzi (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dra. Wilma Izabelly Ananias Gomes
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Profa. Dra. Franciely Ferreira Paiva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	METODOLOGIA.....	7
2.1	Área de estudo	7
2.2	Amostragem.....	9
2.3	Macroinvertebrados bentônicos e tamanho do corpo	9
2.4	Índice de estado trófico	10
2.5	Análise de dados	10
3	RESULTADOS	11
3.1	Índice de estado trófico	11
3.2	Abundância de macroinvertebrados bentônicos	12
3.3	Tamanho do corpo de macroinvertebrados bentônicos	13
4	DISCUSSÃO	15
5	CONCLUSÃO.....	17
	REFERÊNCIAS	18
	APÊNDICE A – TABELA DE ABUNDÂNCIA	22
	APÊNDICE B – GRÁFICO DE ABUNDÂNCIA	23
	APÊNDICE C – TAMANHO DE CORPO POR TÁXON	25
	APÊNDICE D – ABUNDÂNCIA DE INDIVÍDUOS / CATEGORIA POR PONTO	25
	APÊNDICE E – RESULTADOS DA ANÁLISE PERMANOVA (IET-ESTAÇÕES)	26
	APÊNDICE F – RESULTADOS DA ANÁLISE PERMANOVA (IET- RESERVATÓRIOS)	27
	APÊNDICE G – RESULTADOS DA ANÁLISE PERMANOVA (CWM - ESTAÇÕES)	27
	APÊNDICE H – RESULTADOS DA ANÁLISE PERMANOVA (CWM – RESERVATÓRIOS)	27
	AGRADECIMENTOS	27

INFLUÊNCIA DOS IMPACTOS ANTRÓPICOS NO TAMANHO DO CORPO DE INSETOS MACROBENTÔNICOS EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO

Anderson Caio Nascimento Pereira *

Dalescka Barbosa de Melo **

Joseline Molozzi ***

RESUMO

A eutrofização proveniente de atividades humanas, é uma das principais problemáticas para qualidade da água atualmente, que, além de prejudicar tais atividades, gera consequências ecológicas: proliferação de cianobactérias, depleção de oxigênio e perdas de diversidade taxonômica e funcional. Efeitos que se agravam nos reservatórios do semiárido, por serem lênticos e ambientados em altas temperaturas e baixa pluviosidade. Portanto, por serem essenciais para o mantimento da disponibilidade hídrica e da biodiversidade residente, torna-se fundamental a mensuração do seu estado trófico (IET), enquanto medida de qualidade, e o biomonitoramento das características funcionais dos organismos residentes, considerando sua resposta aos impactos. Para isso, utilizamos o índice mais aplicável e consideramos a resposta do tamanho corpóreo, comumente observada em organismos de ecossistemas impactados. Para isso, foram utilizados insetos macrobentônicos, alvos comuns de estudos ecológicos devido a suas características de tolerância e/ou sensibilidade ao ambiente, ciclo de vida longo e relevância ecológica. Como objetivo de analisar a resposta do tamanho corporal aos impactos ambientais. Com essa finalidade, o sedimento com os indivíduos, a transparência e amostras de água para a mensuração do índice, foram coletados em três reservatórios, da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, estado da Paraíba, Brasil, todos impactados por ocupações humanas marginais. Sendo consideradas as estações seca (dezembro, 2021) e chuvosa (maio, 2022), foram amostrados 15 pontos por reservatório, equidistantes e marginais, cobrindo todo o seu perímetro, demarcados via imagens de satélite. O sedimento foi coletado com uma draga Ekman (225 cm), fixado em álcool a 70% e, em laboratório, lava em água corrente, em peneiras de 0,5 mm, refixado e triado para a separação dos organismos, posteriormente, identificados até os níveis de família e gênero com microscópio, estereomicroscópio e chaves de identificação. O tamanho corpóreo foi categorizado em: muito pequeno, pequeno, médio e grande. Para verificar a dominância das categorias, foram utilizadas médias ponderadas da comunidade (CWM), baseadas na abundância total, e a sua frequência. Para verificar diferenças, para o IET e a CWM, entre os reservatórios, foi aplicada uma análise PERMANOVA e para verificar a influência do IET em relação ao tamanho corpóreo, foi feita a Análise de Redundância baseada na distância (db-RDA). Após análises, não foi identificada diferença significativa no valor do índice IET (entre estações), e na CWM (entre estações e entre reservatórios) que apontou dominância dos tamanhos pequeno e médio. Uma diferença considerável para o IET (entre reservatórios). Com

*Anderson Caio Nascimento Pereira: Graduando em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: anderson.caio@aluno.uepb.edu.br

**Dalescka Barbosa de Melo: Doutoranda em Ecologia e Conservação pela Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: dalescka.melo@aluno.uepb.edu.br

***Joseline Molozzi: Docente na Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: jmolozzi@servidor.uepb.edu.br

a db-RDA, verificou-se uma associação positiva entre as variáveis de maior grau de trofia, mesotrófico e eutrófico e os menores tamanhos de corpo, negativamente associados a oligotrofia. Observamos uma predominância de tamanhos de corpo menores em reservatórios com maior grau de impacto, mostrando que a característica é um fator aplicável para o biomonitoramento de ecossistemas impactados.

Palavras-Chave: bioindicadores; estrutura funcional; poluição; monitoramento.

ABSTRACT

Eutrophication caused by human activities is one of the main problems for water quality today. As well as damaging these activities, it also has ecological consequences: proliferation of cyanobacteria, oxygen depletion and loss of taxonomic and functional diversity. These effects are exacerbated in reservoirs in the semi-arid region, as they are lentic and subject to high temperatures and low rainfall. Therefore, as they are essential for maintaining water availability and resident biodiversity, it is essential to measure their trophic state (EIT), as a measure of quality, and to biomonitor the functional characteristics of resident organisms, considering their response to impacts. To do this, we used the most applicable index and considered the response of body size, which is commonly observed in organisms in impacted ecosystems. To do this, we used macrobenthic insects, which are common targets for ecological studies due to their tolerance and/or sensitivity to the environment, long life cycle and ecological relevance. The aim was to analyze the response of body size to environmental impacts. To do this, we used the most applicable index and considered the response of body size, which is commonly observed in organisms from impacted ecosystems. To do this, we used macrobenthic insects, common targets of ecological studies due to their characteristics of tolerance and/or sensitivity to the environment, long life cycle and ecological relevance. The aim was to analyze the response of body size to environmental impacts. To this end, sediment with individuals, transparency and water samples for measuring the index were collected from three reservoirs in the Paraíba River basin in the state of Paraíba, Brazil, all impacted by marginal human occupation. Considering the dry (December 2021) and rainy (May 2022) seasons, 15 points were sampled per reservoir, equidistant and marginal, covering its entire perimeter, demarcated via satellite images. The sediment was collected with an Ekman dredge (225 cm²), fixed in 70% alcohol and, in the laboratory, washed in running water through 0.5 mm sieves, refixed and sorted to separate the organisms, which were then identified down to family and genus level using a microscope, stereomicroscope and identification keys. Body size was categorized as: very small, small, medium and large. To check the dominance of the categories, community weighted averages (CWM) were used, based on total abundance and frequency. To check for differences in EIT and CWM between the reservoirs, a PERMANOVA analysis was applied and to check for the influence of EIT in relation to body size, a distance-based Redundancy Analysis (db-RDA) was carried out. After analysis, no significant difference was identified in the value of the IET index (between stations), and in the CWM (between stations and between reservoirs), which indicated the dominance of small and medium sizes. There was a considerable difference in the EIT (between reservoirs). With the db-RDA, there was a positive association between the variables of higher degree of trophic, mesotrophic and eutrophic, and the smallest body sizes, which were negatively associated with oligotrophy. We observed a predominance of smaller body sizes in reservoirs with a higher degree of impact, showing that this characteristic is an applicable factor for biomonitoring impacted ecosystems.

Keywords: bioindication; pollution; monitoring; functional structure.

1 INTRODUÇÃO

A eutrofização antrópica é o fenômeno pelo qual um corpo hídrico torna-se eutrófico pelo aumento da concentração de nutrientes (SMITH et al., 1999), por sua vez, causado pelo acúmulo de poluentes orgânicos, provenientes do derramamento de efluentes urbanos (esgoto doméstico) e agrícolas (excreção de animais e fertilizantes) (SMITH et al., 1999; BRAGA et al., 2015; DODDS e SMITH, 2016). Na atualidade, essa é uma das principais problemáticas para qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos (TOLEDO Jr. et al., 1983; SILVEIRA et al., 2004; BARBOSA et al., 2012; BRAGA et al., 2015; DODDS e SMITH, 2016), pois pode trazer graves efeitos, tais como: a proliferação de cianobactérias (algumas com a capacidade de liberar toxinas prejudiciais à saúde humana e animal) (OLIVER E RIBEIRO, 2014; da COSTA et al., 2016), a depleção do oxigênio dissolvido, prejuízos socioeconômicos (interferência nas atividades humanas de pesca, abastecimento e agropecuária) e ecológicos (perda de biodiversidade e pressão de alteração nas características funcionais) (SALAMEH e HARAHSEH, 2011; DANTAS-SILVA e DANTAS, 2013).

Um dos principais ecossistemas alvos dessa eutrofização são os reservatórios de regiões semiáridas, ecossistemas artificiais importantes, gerados a partir do barramento do fluxo de água de rios, para a manutenção da disponibilidade hídrica permissiva a sobrevivência das sociedades locais e a execução de suas atividades (abastecimento, irrigação, pesca e agropecuária) (ABÍLIO et al., 2007; BARBOSA et al., 2012; MARENGO et al., 2017). Neste caso, ocorre a transformação de ambientes lóticos (rios) em lênticos (reservatórios), o que facilita diretamente o aumento do grau de trofia (concentração de nutrientes), pois a água terá maior tempo de residência (SILVEIRA et al., 2004; BARBOSA et al., 2012; DODDS e SMITH, 2016; BRAGA et al., 2015; JÚNIOR et al. 2018; LEITE e BECKER, 2019; MELO et al., 2022). Outro fator facilitador são as condições geoclimáticas regionais, nas quais a evapotranspiração normalmente é superior a precipitação (ABÍLIO et al., 2007; BARBOSA et al., 2012; MARENGO et al., 2017), o que se agrava em períodos secos, ou de extrema seca, cuja falta de chuva reduz o armazenamento de água, culminando na redução do volume hídrico e no consequente aumento da concentração de nutrientes (ABÍLIO et al., 2007; BARBOSA et al., 2012; MARENGO et al., 2017; LEITE e BECKER, 2019; MELO et al., 2022).

Determinar o grau de trofia em reservatórios é de extrema importância, pois auxilia no entendimento da saúde do ecossistema e das comunidades biológicas residentes (CARLSON, 1977). Para isso, podemos nos basear em diversos critérios, entre eles: os níveis de nutrientes e de produção primária, medidas de biomassa, oxigênio e composição faunística (CARLSON, 1977). De acordo com cada condição, os corpos hídricos podem ser categorizados como oligotróficos (baixa concentração nutricional e com uma produtividade primária reduzida), mesotróficos (concentração nutrientes e produtividade primária intermediários) e eutróficos (alta riqueza nutricional e elevada produtividade primária) (CARLSON, 1977; TOLEDO Jr. et al., 1983; SMITH et al., 1999). Nesse contexto, o uso de um índice com vários parâmetros interrelacionados e/ou perceptíveis (como, por exemplo, a concentração de clorofila-a, identificada pela presença abundante de algas), torna as mensurações mais confiáveis e relevantes (CARLSON, 1977; SMITH et al., 1999).

Apesar da influência climática e das atividades antrópicas, estes ambientes artificiais possuem grande importância ecológica, pois abrigam uma diversidade de espécies, devido a sua heterogeneidade ambiental, com uma disponibilidade de micro-habitats como: macrófitas aquáticas e diferentes substratos (ABÍLIO et al., 2007; BARBOSA et al., 2012). Os micro-habitats sustentam diferentes comunidade biológicas, com características funcionais (ex., morfológicas, ecológicas, comportamentais e fenológicas), que podem responder, de maneira aclimatativa e mensurável, ao estado de qualidade ambiental (POFF et al., 2006; VERBERK et al., 2008; FEIO e DOLÉDEC, 2012; MOUILLOT et al., 2013; GOMES et al., 2018). Uma das comunidades que apresentam essas características funcionais são os insetos macrobentônicos

(MELO ET AL., 2022; PAIVA ET AL., 2023), que tem sido utilizado em muitos estudos ecológicos (ABÍLIO et al., 2007; GONZALO E CAMARGO, 2013; MELO et al., 2022; PAIVA ET AL., 2023).

Os insetos macrobentônicos, são ecologicamente relevantes, como um dos elos principais das teias tróficas (sendo presas, consumidores primários e predadores) e agentes responsáveis pela bioturbação do sedimento (processo auxiliar na oxigenação do habitat e na ciclagem de nutrientes) (ABÍLIO et al., 2007; MERMILLOD-BLONDIN et al., 2011; BARANOV et al., 2016; NERY E SCHMERA, 2016). Esses organismos, também reúnem características que representam tolerância e/ou sensibilidade às condições do meio ambiente, como por exemplo a diminuição do tamanho do corpo. Uma vez que, o conjunto de condições ambientais desfavoráveis gera uma pressão aclimatativa e, como resposta, esses organismos investem na sua sobrevivência e reprodução e não no tamanho do corpo (MELO et al., 2022). Além disso, a diminuição corpórea promove uma redução do custo metabólico e uma maior facilidade em localizar refúgios (SERRA et al., 2016; XU et al., 2016). Em contrapartida, comumente, os tamanhos de corpo maiores não são muito expressivos em ambientes impactados, como tem sido visto em diferentes estudos, ocorridos em ecossistemas impactados (JOVEM-AZEVEDO et al., 2019; MELO et al., 2022; ABÍLIO et al., 2007; MARENGO et al., 2017; GOMES et al., 2018; LI et al., 2020).

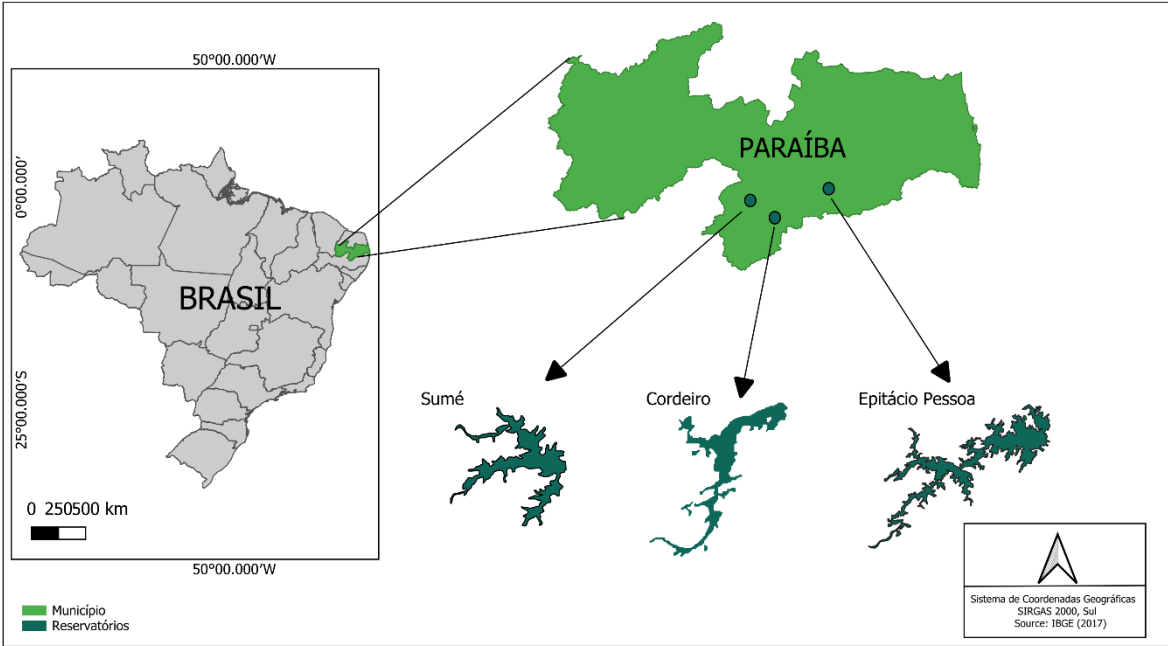
As características funcionais (tamanho do corpo) podem trazer respostas satisfatórias aos aspectos ambientais e sua utilização em programas de biomonitoramento é bastante promissora (GOMES et al., 2018; JIANG et al., 2019; MELO et al., 2022; PAIVA et al., 2023). Nesse contexto, a abordagem vem sendo utilizada para reservatórios (PAIVA et al., 2023), entretanto ainda é pouco documentada para respostas à eutrofização em sistemas lênticos (JIANG et al., 2019). Com isso, o questionamento base do nosso estudo foi: como o tamanho do corpo dos insetos macrobentônicos responderá às condições de impacto ambiental (eutrofização) dos reservatórios? E como nossa hipótese temos: Os tamanhos de corpo menores serão mais expressivos na comunidade macrobentônica, em resposta às condições de impacto (eutrofização), e os maiores serão mais expressivos em locais menos impactados. Portanto, nosso objetivo é avaliar a resposta funcional de insetos macroinvertebrados bentônicos, quanto ao tamanho do corpo, às condições de impacto ambiental (eutrofização) em reservatórios do semiárido.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estudo em questão foi executado em três reservatórios componentes da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, no Estado da Paraíba, sendo eles: Cordeiro, Epitácio Pessoa e Sumé (**Figura 1**), pertencentes a região de clima semiárido seco, segundo a classificação de Köppen-Geiger (ÁLVARES et al., 2013), onde foram coletadas informações em 01, de dezembro de 2021 e 01, de maio de 2022 (**Tabela 1**). A região apresenta médias anuais de temperatura, que variam de 18 a 22 °C (entre julho e agosto) e 28 a 31 °C (entre novembro e dezembro) (ÁLVARES et al., 2013), com uma média anual de precipitação de 400 mm a 800 mm (BARBOSA et al., 2012).

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo nos reservatórios Cordeiro, Epitácio Pessoa e Sumé localizados na bacia hidrográfica do rio Paraíba, estado da Paraíba, Nordeste/Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A bacia do Rio Paraíba ocupa uma área de 20.071,83 km², que corresponde a 38% da área total do estado (AESAs, 2019). Os reservatórios pertencentes a esta bacia são suscetíveis a impactos antrópicos como: descarte inadequado de efluentes domésticos, atividade pesqueira, agricultura, pecuária e turismo, por estarem próximos a ocupações humanas (BARBOSA et al., 2012).

Tabela 1- Características dos reservatórios (AESAs, 2023).

Reservatórios	Cordeiro	Epitácio Pessoa	Sumé
Bacia	Região do alto curso do Rio Paraíba		
Município	Congo	Boqueirão	Sumé
Coordenadas geográficas	7°47'38,00" / 36°40'14,04"	7°29'20.08" / 36°8'26.59"	7°40'13.0" / 36°54'32.0"
Altitude (m)	480	420	532
Volume Máximo (m³)	69.965.945	466.525.964	44.864.100
Volume morto (m³)	1.526.365	15.048.544	185.437
Volume no momento da medição (m³) – dezembro/maio	38.326.602,08 / 35.090.676,64	148.628.539,20 / 131.384.660,90	5.800.910,00 / 5.753.780,00

Volume no momento da medição (%) - dezembro/maio	54,78 / 50,15	31,86 / 28,16	12,93 / 12,82
---	---------------	---------------	---------------

Fonte: AESA, 2023.

2.2 Amostragem

Foram realizadas coletas nos meses de dezembro de 2021 (seca) e maio de 2022 (chuva). Foram amostrados 45 pontos ao todo, sendo que o desenho amostral foi definido em 15 pontos equidistantes ao longo das margens dos três reservatórios, traçados com o auxílio de imagens de satélite (MACEDO et al., 2014), para cobrir todo o perímetro dos reservatórios.

2.3 Macroinvertebrados bentônicos e tamanho do corpo

Amostras de sedimentos foram coletadas em todos os pontos de amostragem com uma draga Ekman-Birge (área total de 225 cm²), essas foram fixadas com álcool a 70%. No laboratório, as amostras foram lavadas com água corrente em peneiras de 0,5 mm, conservadas em álcool a 70% e coradas com o corante Rosa de Bengala (KULMANN et al., 2012), para destacar os macroinvertebrados por entre o sedimento. As amostras passaram por uma triagem manual com pinças metálicas em bandejas de fundo branco, iluminada a partir de sua porção inferior, para otimizar a visualização e a separação dos organismos (KULMANN et al., 2012).

Dos organismos obtidos, foram avaliados apenas os da classe Insecta, identificados com o auxílio de um microscópio e um estereomicroscópio e o uso de chaves de identificação especializadas (PETERSON, 1960; CARVALHO e CALIL, 2000; COSTA et al., 2006; TRIVINHO-STRIXINO, 2011; KULMANN et al., 2012), para a família Chironomidae a nível de gênero, e para os demais grupos a nível de família. Posteriormente, foram medidos e separados em quatro categorias de tamanho de corpo: muito pequeno <2,5 (mm), pequeno 2,5-5(mm), médio 5-10 (mm) e grande 10-20 (mm) (SERRA et al., 2017) (**Tabela 2**).

Tabela 2- Categorização do tamanho do corpo dos Insecta e sua respectiva relevância ecológica.

Característica funcional	Categorias	Relevância ecológica
Tamanho do corpo	<2,5 (mm) Muito Pequeno	Em ambientes mais impactados, a redução do tamanho do corpo viabiliza a sobrevivência e a perpetuação das comunidades. Para locais menos impactados, geralmente, é observado um aumento do tamanho corpóreo (SERRA et al., 2016; XU et al. 2016; JOVEM-AZEVEDO et al., 2019; MELO et al, 2022)
	2,5-5(mm) Pequeno	
	5-10 (mm) Médio	
	10-20 (mm) Grande	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

2.4 Índice de estado trófico

Para avaliar a qualidade ambiental, foi mensurado o grau de trofia de cada reservatório, através do IET de Carlson (1977), modificado por Toledo Jr. (1983), enquanto um dos índices mais aplicáveis aos corpos hídricos do semiárido (JOVEM-AZEVEDO et al., 2015). O cálculo pode ser definido como uma modificação linear baseada na média (IETm) de quatro variáveis: transparência (s) (mensurada através disco de Secchi) (m) e das concentrações de nutrientes baseados em fósforo; fósforo total superficial (PT) ($\mu\text{g/L}$) e Fosfato Solúvel Reativo (FSR) (PO_4) ($\mu\text{g/L}$), e da clorofila-*a* (Chla) ($\mu\text{g/L}$) (TOLEDO Jr. et al., 1983). Segundo a fórmula:

$$\begin{aligned} (1) \text{ IET (S)} &= 10 * [6 - (0,64 + \ln S / \ln 2)] \\ (2) \text{ IET (PT)} &= 10 * [6 - (8,32 / \text{PT} * \ln 2)] \\ (3) \text{ IET (Chla)} &= 10 * \{6 - [2,04 - 0,95 * (\ln * (\text{Chla}) / \ln 2)\} \\ (4) \text{ IET (PO}_4\text{)} &= 10 * \{6 - (\ln * (21,67) / \ln 2 * \text{PO}_4)\} \\ (5) \text{ IETm} &= \frac{\text{IET (S)} + 2 \{ \text{IET (PT)} + \text{IET (Chla)} + \text{IET (PO}_4\text{)} \}}{7} \end{aligned}$$

Para a obtenção nos valores necessários, amostras de água (1 L) foram coletadas na subsuperfície de cada ponto amostral e transportadas para o laboratório, onde foram feitas as avaliações das concentrações de fósforo total (PT - $\mu\text{g/L}$) e Fosfato Solúvel Reativo (ORP - FSR - $\mu\text{g/L}$), seguindo a metodologia proposta por APHA (2023).

Aos dados obtidos das análises laboratoriais foram acrescentadas as mensurações da transparência (obtida através do disco de Secchi) e clorofila-*a* (extraída em acetona a 90%, de acordo com o método de Lorenzen (1967), e mensurada através de um espectrômetro), também necessárias para o cálculo do índice (CARLSON, 1977) modificado (TOLEDO Jr. et al., 1983). Baseado nos dados abióticos coletados e nos resultados obtidos para o IET, os reservatórios foram classificados quanto ao seu estado trófico, sendo $\text{IET} < 44$, para ambientes oligotróficos; $44 < \text{IET} < 54$, para mesotróficos e $\text{IET} > 54$, para eutróficos.

2.5 Análise de dados

Para as análises do tamanho do corpo dos macroinvertebrados, foram utilizadas médias ponderadas da comunidade (CWM), calculada para a característica, baseadas na abundância (RICOTTA E MORETTI, 2011), a fim de obter informações sobre quais são as categorias de tamanho do corpo são dominantes na comunidade. Para a mesma finalidade, e para otimizar a visualização do cenário observado, também utilizamos a frequência de cada categoria de tamanho em relação a abundância total de cada reservatório.

Para verificar a diferença, em relação ao IET e a CWM, entre os reservatórios e entre estações climáticas, com base nos valores obtidos, foram aplicadas duas análises de significância com 9999 permutações (Permutational Analysis of Variance – PERMANOVA; ANDERSON 2001; ANDERSON et al. 2008), uma delas considerando o fator fixo: estações, composto por dois níveis: seca e chuvosa e a outra considerando o fator reservatório, composto por 3 níveis: Cordeiro, Epitácio Pessoa e Sumé.

Em seguida, para verificar a influência do estado trófico em relação a característica funcional, foi feita a Análise de Redundância baseada na distância– db-RDA (LEGENDRE e ANDERSON, 1999) (com uma significância $p \leq 0,05$), um modelo de variância com vários fatores, para variáveis-resposta multiespécies (no nosso caso o tamanho do corpo), sendo baseada em medidas de distância (nível de associação), que são ecologicamente relevantes (LEGENDRE e ANDERSON, 1999). Permitindo assim a testagem da significância de termos

que interação entre si em um modelo linear, utilizando a análise de coordenadas principais (LEGENDRE e ANDERSON, 1999).

A análise segue as seguintes etapas: 1- Cálculo da matriz de distância entre as réplicas, utilizando medidas de distância previamente escolhidas; 2- Definição das coordenadas principais (condizentes com as medidas de distância) (LEGENDRE e ANDERSON, 1999); 3- Adaptação das variáveis qualitativas (as três classes de trofia: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico) em variáveis quantitativas, inserido o valor obtido pelo cálculo do índice ao invés da classificação e o valor 0 para a ausência das outras classes de trofia (variáveis dummy), e criação de uma matriz (com essas variáveis), cujos valores correspondam ao desenho experimental (HARDY, 1993; LEGENDRE e ANDERSON, 1999); 4- Análise da relação entre as principais coordenadas estabelecidas (no caso deste estudo correspondentes aos valores da CWM para cada ponto dos reservatórios) e as variáveis dummy (modelo) usando a RDA; 5- Estabelecimento de um teste permutacional para estatísticas correlatas aos termos definidos do modelo (LEGENDRE e ANDERSON, 1999). Todas as análises mencionadas foram realizadas através do software estatístico R versão 4.3.3, (R Core Team, 2024).

3 RESULTADOS

3.1 Índice de estado trófico

A classificação trófica de acordo com o IET apontou os reservatórios Cordeiro e Epitácio Pessoa como sendo mesotróficos ($44 < \text{IET} < 54$) na estação seca, no entanto, na chuvosa o Epitácio Pessoa foi classificado como oligotrófico ($\text{IET} < 44$) (Tabela 3). Enquanto isso, Sumé foi considerado eutrófico ($\text{IET} > 54$) em ambas as estações (Tabela 3).

De um modo geral quando analisado o IET, não foram observadas diferenças significativas entre as estações seca e chuva ($F_{1,85} = 0,2861$, $p = 0,419$) (APÊNDICE E), no entanto, para os reservatórios, foi observada uma diferença significativa ($F_{2,85} = 28,336$, $p = 0,0001$) (APÊNDICE F).

Tabela 3 - Resultados do Índice de Estado Trófico nos reservatórios Cordeiro, Epitácio pessoa e Sumé nas estações seca e chuva.

Reservatório	mês	dezembro (seca)		maio (chuva)	
	Ponto	IET	Classificação	IET	Classificação
Cordeiro	1	46.90	mesotrófico	47.73	mesotrófico
	2	27.70	oligotrófico	51.25	
	3	55.72	eutrófico	47.60	
	4	43.49	mesotrófico	49.14	
	5	26.44	oligotrófico	41.98	
	6	58.98	eutrófico	43.94	
	7	46.86		47.76	
	8	45.18	mesotrófico	50.18	
	9	52.08		48.23	
	10	42.60	oligotrófico	45.13	
	11	58.03	eutrófico	44.92	
	12	48.86		41.51	
	13	46.18	mesotrófico	45.08	
	14	46.81		47.60	

	15	23.71	oligotrófico	66.70	eutrófico
	valores médios/classificação	44.64	mesotrófico	47.92	mesotrófico
Epitácio Pessoa	1	45.35	mesotrófico	51.59	mesotrófico
	2	45.55		24.23	oligotrófico
	3	29.31	oligotrófico	48.80	mesotrófico
	4	47.87		48.29	
	5	47.56		37.94	oligotrófico
	6	43.80	mesotrófico	45.30	mesotrófico
	7	48.37		50.65	
	8	49.69		47.88	
	9	55.25	eutrófico	46.23	eutrófico
	10	46.92	mesotrófico	54.63	
	11	41.19	oligotrófico	43.71	
	12	49.68	mesotrófico	42.00	-
	13	47.28		42.89	
	14	42.76	oligotrófico	37.33	
	15	46.23	mesotrófico	32.51	
	valores médios/classificação	45.79	mesotrófico	43.60	oligotrófico
Sumé	1	66.03		58.05	eutrófico
	2	67.27		57.38	
	3	62.08		54.00	mesotrófico
	4	63.98	eutrófico	55.64	eutrófico
	5	64.67		57.41	
	6	64.83		57.89	
	7	65.45		59.59	
	8	67.47		58.89	
	9	66.60		58.10	
	10	**	**	57.95	
	11	68.18	eutrófico	55.30	
	12	68.68		**	**
	13	**	**	57.09	
	14	**	**	55.66	eutrófico
	15	**	**	56.21	
	valores médios/classificação	65.93	eutrófico	57.03	eutrófico

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

3.2 Abundância de macroinvertebrados bentônicos

Foram amostrados 803 indivíduos, 609 na estação seca e 194 na chuvosa, sendo 77 em Cordeiro, 23 em Epitácio Pessoa e 703 em Sumé. Os organismos coletados pertenciam a 9 famílias: Caenis (FABRICIUS, 1775), Ceratopogonidae, Chironomidae, Coenagrionidae, Dytiscidae, Elmidae, Ephemeridae, Gomphidae, Gryllotalpidae e Libellulidae. A família com

a maior abundância foi a Chironomidae com 792 indivíduos, e 14 gêneros, são eles: *Ablabesmya* (KIEFFER, 1913), *Aedokritus* (ROBACK, 1957), *Asheum* (OLIVER, 1971), *Chironomus* (MEIGEN, 1804), *Coelotanypus* (FREEMAN, 1954), *Dicrotendipes* (KIEFFER, 1913), *Fissimentum* (KIEFFER, 1913), *Goeldichironomus* (FITTAU, 1962), *Labrudinea* (MENDES, 1956), *Neotrichia* (KIEFFER, 1913), *Parachironomus* (KIEFFER, 1917), *Polypedilum* (KIEFFER, 1913), *Tanytarsus* (VAN DER WULP, 1874), *Thienemanniella* (FITTAU, 1962). (APÊNDICES A e B).

No reservatório de Cordeiro, foi observada uma dominância na abundância dos táxons: *Asheum*, *Aedokritus*, *Chironomus*, Ceratopogonidae, *Caenis* (FABRICIUS, 1775), *Goeldichironomus* e *Polypedilum* (APÊNDICES A e B). Em Epitácio Pessoa, não foi obtida uma abundância considerável dos táxons supracitados, ao invés disso as maiores abundâncias foram dos seguintes táxons: *Parachironomus*, Libellulidae, *Dicrotendipes*, Gryllotalpidae e Elmidae (APÊNDICES A e B). Por fim, em Sumé observamos uma maior presença de indivíduos: *Aedokritus*, *Tanytarsus*, *Goeldichironomus*, *Polypedilum*, *Caenis* (FABRICIUS, 1775), Ceratopogonidae, *Fissimentum*, *Asheum* e *Coelotanypus*, sendo 5 táxons em comum com os mais abundantes de Cordeiro (APÊNDICES A e B).

3.3 Tamanho do corpo de macroinvertebrados bentônicos

Quando analisada a CWM, não foram observadas diferenças no tamanho do corpo entre as estações seca e chuva ($F_{1,51} = 1,4371$, $p=0,1107$) (APÊNDICE G), nem entre os reservatórios ($F_{2,48}=1,8287$, $p=0,118$) (APÊNDICE H).

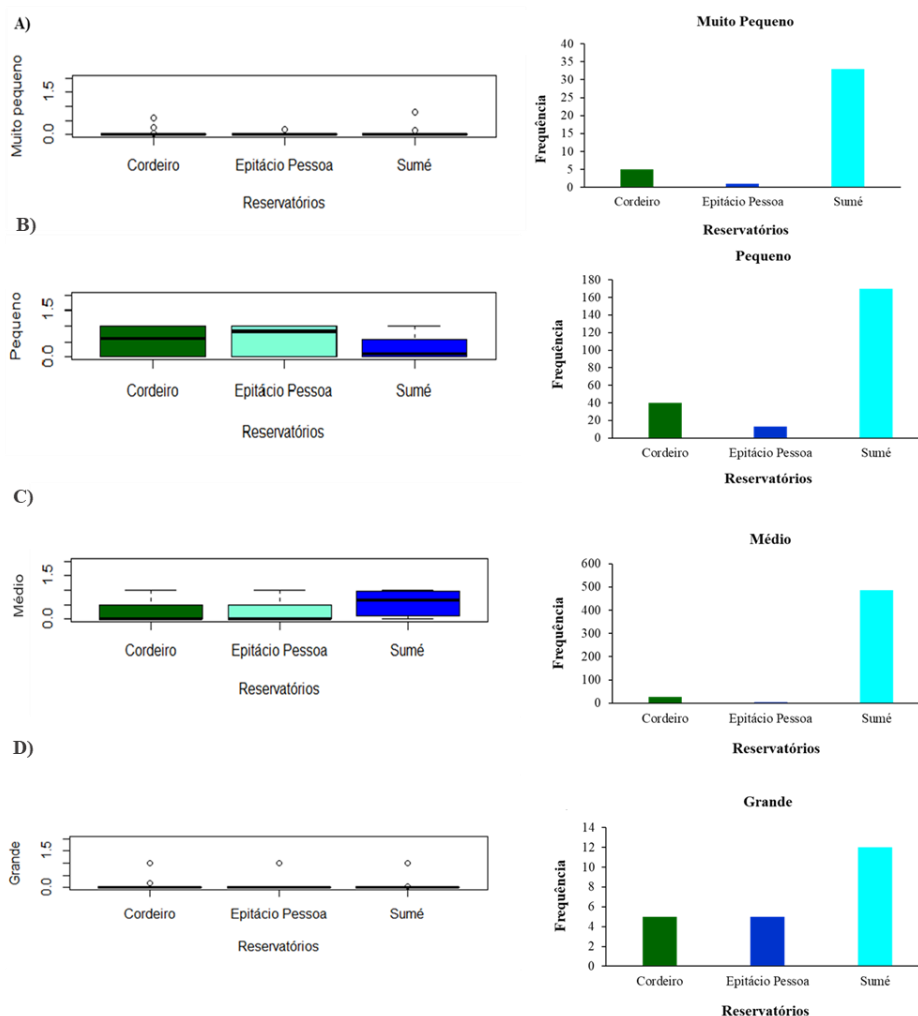
Em geral, identificou-se uma semelhança no tamanho do corpo dos macroinvertebrados em todos os reservatórios (Figura 2), com uma dominância (e/ou alta abundância) das categorias de tamanho pequeno e médio, e uma baixa representatividade (e baixa frequência) das demais (Tabela 4). Houve apenas uma exceção no reservatório Epitácio Pessoa, na qual a categoria grande foi a mais representativa que a média (Tabela 4).

Tabela 4 – Frequência de cada categoria de tamanho do corpo.

Frequência de indivíduos					
Reservatórios	Categorias de tamanho				
	Muito pequeno	Pequeno	Médio	Grande	total
Cordeiro	5	40	27	5	77
Epitácio Pessoa	1	13	4	5	23
Sumé	33	170	485	12	700

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 2 – Resultados da CWM, calculada para cada categoria de tamanho de corpo, considerando os três reservatórios: em Epitácio Pessoa, Cordeiro e Sumé. Cada gráfico representa a categoria de tamanho e sua respectiva frequência, sendo: **A)** muito pequeno, **B)** pequeno, **C)** médio e **D)** grande.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No reservatório de Cordeiro, foram identificadas associações positivas dos estados tróficos eutrófico com os tamanhos de corpo muito pequeno e pequeno, e mesotrófico com o tamanho médio. Para o oligotrófico, observamos uma associação negativa com o tamanho pequeno e positiva com o grande (**Figura 3 A**). Considerando que a maioria dos pontos foi identificada como mesotrófica, essa foi a variável explicativa de maior influência nos resultados observados para a CWM nesse reservatório. É importante ressaltar que a maior parte dos pontos, mesmo categorizados como mesotróficos, tiveram valores relativamente aproximados do limite para serem considerados eutróficos indicando um impacto antrópico considerável (**Tabela 3**).

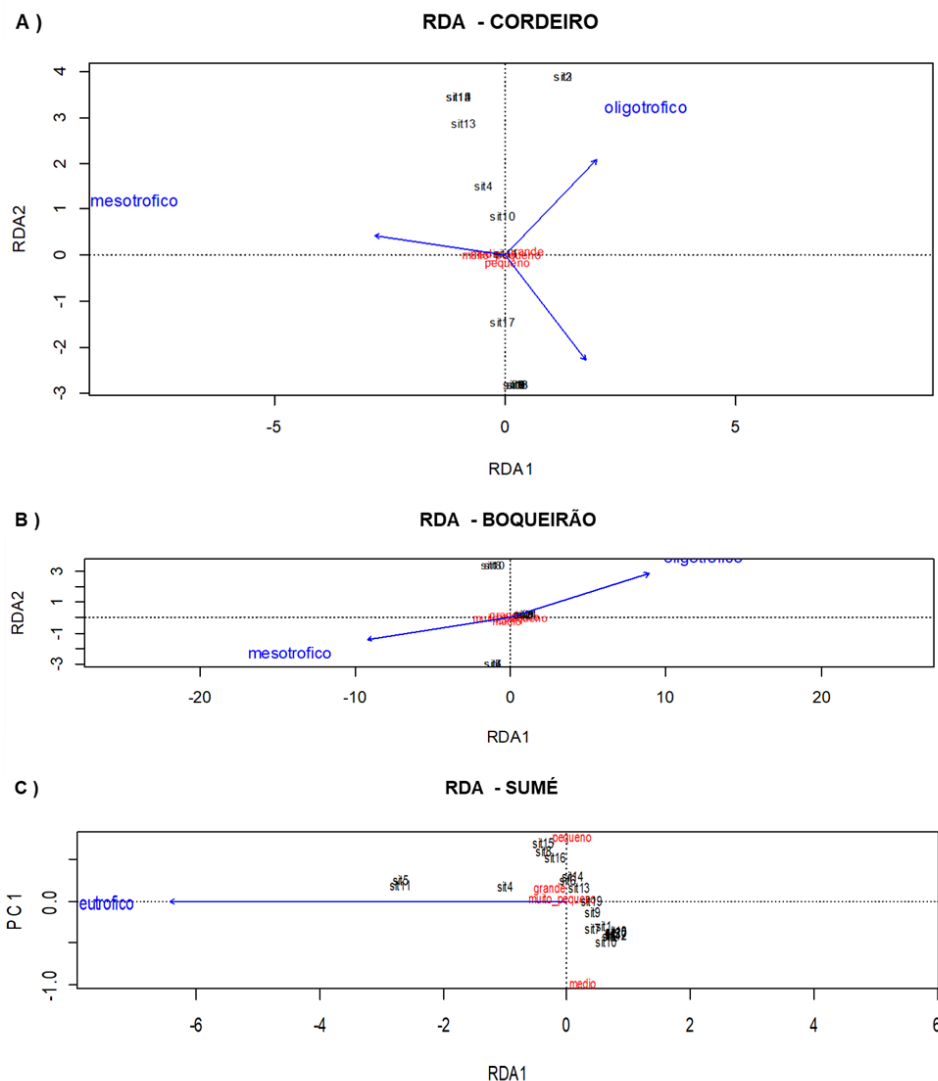
No reservatório de Epitácio Pessoa, houve uma associação positiva do estado mesotrófico com todas as categorias de tamanho de corpo, com ênfase nas categorias muito pequeno, médio e grande. O oligotrófico foi avaliado como negativamente associado ao tamanho corpóreo muito pequeno (**Figura 3 B**). Assim como no reservatório de Cordeiro, a variável mesotrófica foi a mais explicativa para os resultados de tamanho observados.

Em Sumé, o estado eutrófico está fortemente associada, de forma positiva, a categoria muito pequena, enquanto o tamanho pequeno apresentou uma baixa associação positiva. Os pontos mais eutrofizados (com os maiores valores para o IET) foram os 4, 5 e 11, onde os tamanhos de corpo maiores foram mais representativos. Houve uma associação positiva entre o estado eutrófico e o tamanho grande, entretanto, e negativa para categoria média (**Figura 3 C**). Ao contrário dos demais reservatórios, a variável mais explicativa para Sumé foi o estado eutrófico.

Em todos os reservatórios, a variável mesotrófica se destacou como uma influente explicativa, embora Sumé tenha mostrado uma predominância do estado eutrófico. De modo

geral, as associações positivas entre as variáveis de maior impacto (mesotróficas e eutróficas) e os tamanhos de corpo menores, enquanto Epitácio Pessoa apresentou um padrão similar, embora com menor representatividade do tamanho médio, sendo o tamanho grande o segundo mais predominante, embora que de forma sutil.

Figura 3 – Resultados da Análise de Redundância (RDA) do estado trófico e as categorias de tamanho corporal, para os reservatórios **A)** Cordeiro, **B)** Epitácio Pessoa e **C)** Sumé, independente da estação climática.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4 DISCUSSÃO

A nossa hipótese foi confirmada, considerando que os tamanhos de corpo menores, na comunidade de insetos macrobentônicos, foram mais predominantes nos reservatórios mais antropicamente impactados, representados pelas variáveis mesotrófico e eutrófico, em nosso estudo. Diante disso, verificamos uma similaridade entre os resultados encontrados para o IET, considerando as estações de seca e chuva, o que pode estar associado a dois fatores: a baixa variação do volume dos reservatórios, entre as estações, e os impactos constantes pelas atividades antrópicas e suas influências nas condições físicas e químicas da água (BARBOSA et al., 2012; QUEVEDO e PAGANINI, 2011; MELO et al., 2017; LEITE e BECKER, 2019). Uma vez que, existem ocupações humanas nas margens desses corpos aquáticos, que fazem uso de sua disponibilidade hídrica para as suas atividades (abastecimento, irrigação, pesca e agropecuária) (ABÍLIO et al., 2007; BARBOSA et al., 2012; MARENGO et al., 2017; MEES,

2012 e EVERALL et al., 2019). Dentre as quais, podemos enfatizar as atividades domésticas e voltadas a agropecuárias, cujos efluentes resultantes (pesticidas, fertilizantes, excreções animais e resíduos domésticos), geram uma contaminação por poluentes orgânicos, que culmina na perda da qualidade da água, como apontado por alguns estudos (ABÍLIO et al., 2007; QUEVEDO e PAGANINI, 2011; BARBOSA et al., 2012; MELO et al., 2017; GOMES et al. 2018 e EVERALL et al., 2019).

No entanto, ao avaliarmos o IET para os reservatórios, verificamos uma diferença significativa entre eles, correspondente aos seus volumes (tanto o volume total quanto o relativo ao momento das mensurações realizadas em dezembro e maio) (AESAs, 2023), Cordeiro e Epitácio Pessoa tiveram os menores valores para o índice, sendo classificados como mesotróficos, e os maiores volumes. Contudo, o Epitácio Pessoa, de maior volume, apresentou mais pontos oligotróficos e apenas um eutrófico, enquanto Cordeiro apresentou três pontos eutróficos, sendo considerado mais impactado. Enquanto isso, o reservatório de Sumé, de menor volume, foi considerado eutrófico, apresentando apenas um ponto mesotrófico, o que sugere uma maior incidência de atividades antrópicas em suas margens. A diferença entre os reservatórios pode estar associada a relação entre o volume e a qualidade da água, considerando que a concentração de nutrientes orgânicos pode aumentar em condições de redução de volume, comuns em um contexto de clima semiárido, como observado em alguns estudos ambientados nesta região climática (BARBOSA et al., 2012; JÚNIOR et al., 2018; LEITE e BECKER, 2019; MELO et al., 2022; PAIVA et al., 2023).

Com relação a abundância observada, identificamos que os táxons mais abundantes, nos reservatórios mais impactados (Cordeiro e Sumé), são aqueles reconhecidos na literatura como mais tolerantes a degradação ambiental (SONODA, 2010; SERRA et al., 2016; JOVEM-AZEVÊDO et al., 2019; MELO et al., 2022), por possuírem características mais generalistas, são eles: *Goeldichironomus*, *Tanytarsus*, *Aedokritus*, *Asheum*, *Chironomus*, *Coelotanypus*, *Polypedilum* e *Ceratopogonidae* (QUEIROZ, 2008; SONODA, 2010; SERRA et al., 2016; JOVEM-AZEVÊDO et al., 2019; MELO et al., 2022), esses indivíduos foram encontrados com tamanhos de corpo menores. No entanto, no Epitácio Pessoa, o reservatório de menor grau de impacto, observamos a menor abundância, com predominância de táxons reconhecidos como mais sensíveis ou de tolerância moderada, tais como: *Dicrotendipes*, *Parachironomus*, *Libellulidae* e *Elmidae* (PETERSON, 1960; CARVALHO e CALIL, 2000; CALLISTO et al., 2001; COSTA et al., 2006; TRIVINHO-STRIXINO, 2011; GUSTAVSON et al., 2013; SERRA et al., 2016; MELO et al., 2022). Em Epitácio Pessoa, possivelmente a abundância foi mais reduzida devido a um “efeito bottom-up”, se levarmos em conta que o estado oligotrófico, com menores populações vegetais e algais, pode ter culminado na diminuição de táxons mais generalistas que se alimentam delas, atingindo outros níveis das teias tróficas (RICKLEFS, 1996; GOMES et al., 2018; MELO et al., 2022). Provavelmente, observou-se em Sumé, de maior abundância, um efeito contrário (RICKLEFS, 1996; GOMES et al., 2018; MELO et al., 2022).

As diferenças observadas para os reservatórios influenciaram a resposta funcional do tamanho do corpo, levando em conta que a CWM apresentou uma maior frequência de organismos de tamanhos menores nos reservatórios mais impactados (cordeiro e Sumé), embora essa tendência tenha sido mais acentuada no reservatório de Sumé, indicando que o maior grau de trofia influenciou positivamente as categorias de tamanho menores. Em comparação, no reservatório de Epitácio Pessoa, que apresentou os menores valores para o IET, foi vista uma dominância mais sutil da categoria de tamanho pequeno e, ao invés do tamanho médio, o grande apresentou a segunda maior frequência, mas com uma predominância discreta em relação as demais categorias (muito pequeno e médio). Entretanto, os resultados para CWM, no Epitácio Pessoa, possivelmente representam menos a comunidade macrobentônica residente, considerando que foi coletada uma baixa abundância de indivíduos.

De modo geral, a categoria de tamanho de corpo grande ocorreu com uma baixa frequência, sendo a segunda maior dominância apenas em Epitácio Pessoa, o que pode indicar

uma baixa resiliência desta característica frente às condições adversas, uma tendência mencionada em alguns estudos realizados em reservatórios (GOMES et al., 2018; JIANG et al., 2019; JOVEM-AZEVEDO et al., 2019; Melo et al., 2022; PAIVA et al., 2023). No entanto, em algumas bibliografias não é identificada uma relação clara entre o tamanho do corpo e as condições ambientais desfavoráveis ou esta relação apresenta uma resposta oposta, com organismos maiores sendo mais presentes na estrutura da comunidade (BOERSMA et al., 2016; GOMES et al., 2018; JIANG et al., 2019). Dado que grandes predadores podem ter suas populações aumentadas pela disponibilidade de presas generalistas, ou pela capacidade de modificar sua estratégia alimentar, como resposta funcional, para tolerar o ambiente degradado. (QUEIROZ, 2008; SONODA, 2010; FEIO e DOLÉDEC, 2012; FEIO et al., 2015; SERRA et al., 2016 e 2017; BOERSMA et al., 2016; JIANG et al., 2019).

A resposta observada está ligada à ação antrópica, enquanto grande precursora de processos de eutrofização (QUEVEDO e PAGANINI, 2011), pois esse fator pode agir como um filtro de características funcionais, assim selecionando aqueles táxons com um conjunto de características mais adaptado à permanência em habitats degradados (RICKLEFS, 1996; POFF et al., 1997; SMITH et al., 1999). Além disso, os impactos, quando em interação sinérgica com características geoclimáticas, podem favorecer indivíduos de menor tamanho (DÍAZ et al., 2008; DAUFRESNE et al., 2009; FEIO et al., 2015). Portanto, a dominância de categorias observada, principalmente em Cordeiro e Sumé, pode ser definida como uma resposta funcional aclimatativa da comunidade de insetos macrobentônicos, às condições ambientais desfavoráveis, que viabilizou a sobrevivência desses nos habitats impactados (MELO et al., 2022). Considerando que tamanhos corpóreos menores conferem maiores resistência e resiliência a perturbações antrópicas, e permitem que os organismos invistam na recolonização (FEIO e DOLÉDEC, 2012; FEIO et al., 2015; JOVEM-AZEVEDO et al., 2019). Dado que a diminuição do corpo está comumente associada ao encurtamento dos ciclos de vida (BONADA et al., 2007; FEIO et al., 2015) e a uma maior atividade reprodutiva (maiores frequência reprodutiva e número de descendentes), uma “escolha trade-off” típica em ambientes com qualidade ambiental comprometida (BONADA et al., 2007; FEIO et al., 2015; JOVEM-AZEVEDO et al., 2019).

Os resultados reforçaram uma associação positiva entre as categorias menores e os estados tróficos de maior impacto (mesotrófico e eutrófico), para todos os reservatórios. Além disso, o estado oligotrófico demonstrou uma associação negativa com as categorias menores. Uma exceção à tendência observada foi a categoria de tamanho médio, que, em Sumé, demonstrou uma associação negativa com a variável eutrófica, indicando que essa possivelmente resposta funcional pode estar ligada a outro indicador de impacto. De modo geral, houve tendência de dominância de categorias menores em pontos mais impactados, e do tamanho grande naqueles mais preservados, sendo a mesotrofia e a eutrofia, as variáveis mais explicativas para essa tendência observada. Portanto, nossos resultados indicam a eficácia do monitoramento de macroinvertebrados, enquanto organismos indicadores de alterações na qualidade da água (eutrofização antrópica), por meio de suas respostas funcionais ao tamanho do corpo corroborando com os achados na literatura (GOMES et al., 2018; JOVEM-AZEVEDO et al., 2019; MELO et al., 2022; PAIVA et al., 2023).

5 CONCLUSÃO

O nosso estudo demonstrou que a degradação na qualidade ambiental, precedida pelos impactos antrópicos, é refletida no estado trófico dos reservatórios. Esse parâmetro, por sua vez influencia características funcionais dos organismos residentes, como por exemplo o tamanho do corpo, mediante a isso temos maiores frequência e dominância de organismos de tamanhos pequenos, em condições eutróficas. Em contraste, o tamanho desses organismos tende a aumentar em condições de melhor qualidade ambiental. Isso indica que a resposta funcional do

tamanho do corpo dos macroinvertebrados bentônicos, tal qual outras características funcionais, é um parâmetro promissor para ser utilizado como um bioindicador das condições ambientais, principalmente em corpos hídricos suscetíveis à pressões antrópicas, como os reservatórios do semiárido. Com isso, nosso estudo demonstra a importância de incluir o tamanho do corpo em estudos com análises de características funcionais.

REFERÊNCIAS

ABÍLIO, F. J. P. et al. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental de corpos aquáticos da caatinga. **Oecologia Brasileira**, v. 11 (3), 397–409, out. 2007.

AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba). Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>. Acessado em 2024.

ÁLVARES, C.A. et al. Köppen 's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22 (6), 711-728, dez. 2013.

ANDERSON, M. J. Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatics Sciences**, v. 58 (3), 626–639, mar. 2001.

ANDERSON, M. J.; GORLEY, R N.; CLARKE, K. R. For Primer: Guide to Software and Statistical Methods. **PRIMER-e, Plymouth, UK**, 2008.

APHA (American Public Health Association); AMWWA (American Water Works Association) e WEF (Water Environment Federation). LIPPS, W. C., BRAUN-HOWLAND, E. B. e BAXTER, T. E. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA Press, Washington DC., 2023.

BARANOV, V.; JORG, L.; KRAUSE, S. et al. Bioturbation enhances the aerobic respiration of lake sediments in warming lakes. **Biology letters**, v. 12 (8), 20160448, ago. 2016.

BARBOSA, J. E. D. L. et al. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, 103-118, mar. 2012.

BRAGA, B. B. et al. From waste to resource: Cost-benefit analysis of reservoir sediment reuse for soil fertilization in a semiarid catchment. **Science of the total environment**, v. 670, 158-169, jun. 2019.

BOERSMA, K. S. et al. Climate extremes are associated with invertebrate taxonomic and functional composition in mountain lakes. **Ecology e Evolution**, v. 6 (22), 8094-8106, 10.1002/ece3.2517, out. 2016.

BONADA, N. et. al. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, v. 51, 495-523, jan. 2006.

BONADA, N.; DOLÉDEC, S.; STATZNER, B. Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: implications for future climatic scenarios. **Global Change Biology**, v. 13, 1658-1671, mai. 2007.

- CALAPEZ, A. R. et al. Macroinvertebrate short-term responses to flow variation and oxygen depletion: a mesocosm approach. **Science of the Total Environment**, v. 599, 1202-1212, dez. 2017.
- CALLISTO, M.; MORETTI, M. e GOULART, M. Macroinvertebrados Bentônicos como Ferramentas para Avaliar a Saúde de Riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6 (1), 71-82, mar. 2001. Disponível em: http://labs.icb.ufmg.br/benthos/index_arquivos/pdfs_pagina/callisto.et.al.2001.RBRH.pdf
- CARLSON, R. Trophic State Index for Lakes. **Limnology and oceanography**, v. 22 (2), 361-369, mar. 1977.
- CARVALHO, A.L. e CALIL, E.R. Chaves de identificação para as famílias de Odonata (Insecta) ocorrentes no Brasil, adultos e larvas. **Papéis Avulsos de Zoologia** v. 41 (15), 223-241, dez. 2000.
- COSTA, C.; IDE, S. e SIMONKA, C. S. Insetos Imaturos Metamorfose e Identificação. **Helos, Ribeirão Preto**, p. 249, 2006.
- DANTAS-SILVA, L. T. e DANTAS, E. W. Zooplâncton e a eutrofização em reservatórios do Nordeste brasileiro. **Oecologia Australis**, v. 17(2), 53-58, jun. 2013.
- DA SILVA, V. E. L.; DOLBETH, M.; FABRÉ, N. N. et al. Assessing tropical coastal dynamics across habitats and seasons through different dimensions of fish diversity. **Marine Environmental Research**, v. 171, 105-458, out. 2021.
- DAUFRESNE, M.; LENGFELLNER, K.; SOMMER, U. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106 (31), 12788-12793, ago. de 2009.
- DE MELO, D. B. et al. Extreme drought scenario shapes different patterns of Chironomid coexistence in reservoirs in a semi-arid region. **Science of The Total Environment**, v. 821, 153053, mai. 2022.
- DE QUEIROZ, J. F. et al. Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de qualidade de água. **Embrapa Meio Ambiente**, p. 91, 2008
- DODDS, W. K. e SMITH, V. H. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. **Inland Waters**, v. 6 (2), 155-164, jun. 2016.
- EVERALL, N. C. et al. Macroinvertebrate community structure as an indicator of phosphorus enrichment in rivers. **Ecological Indicators**, v. 107, 105-619, dez. 2019.
- FEIO, M. J. e DOLÉDEC, S. Integration of invertebrate traits into predictive models for indirect assessment of stream functional integrity: a case study in Portugal. **Ecological Indicators**, v. 15 (1), 236-247, abr. 2012.
- FEIO, M. J.; DOLÉDEC, S.; Graça, M.A.S. Human disturbance affects the long-term spatial synchrony of freshwater invertebrate communities. **Environmental Pollution**, v. 196, 300-308, jan. 2015.

- GOMES, W. I. A. et al. Functional attributes of Chironomidae for detecting anthropogenic impacts on reservoirs: a biomonitoring approach. **Ecological Indicators**, v. 93, 404-410, out. 2018.
- GONZALO, C. e CAMARGO, J. A. The impact of an industrial effluent on the water quality, submersed macrophytes and benthic macroinvertebrates in a dammed river of Central Spain. **Chemosphere**, v. 93 (6), 1117-1124, out. 2013.
- Gustavson, S. S.; Lourdes A. C. e Trama, F. A. 2013. Macroinvertebrados Bentônicos como Indicadores de la Calidad de Agua en la Microcuenca San Alberto, Oxapampa, Perú. **Apuntes de Ciencia; Sociedade**, v. 3 (2), 124-139, set. 2013
- HARDY, M. A. **Regression with dummy variables**. Sage, 1993.
- JIANG, X. et al. Do functional traits of chironomid assemblages respond more readily to eutrophication than taxonomic composition in Chinese floodplain lakes? **Ecological indicators**, v. 103, 355–362, ago. 2019.
- JOVEM-AZEVÊDO, D. et al. Diversity measures in macroinvertebrate and zooplankton communities related to the trophic status of subtropical reservoirs: contradictory or complementary responses? **Ecological indicators**, V. 50, 135-149, mar. 2015.
- JOVEM-AZEVÊDO, D. et al. Dipteran assemblages as functional indicators of extreme droughts. **Journal of Arid Environments**. v. 164, 12–22, mai. 2019.
- JÚNIOR, C. A. N. D. R. et al. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 30, 106, out. 2018.
- KÖPPEN, W. P., e EUGENE, A. L. T. Handbuch der Klimatologie: in fünf Banden. Das geographische System der Klimate. **Verlag von Gebrüder Borntraeger**, 1936.
- KUHLMANN, M. L. et al. Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo. **São Paulo: CETESB**, 2012.
- LAKHLOUFI, M. Y. et al. Evaluation of anthropic activities impact through the monitoring of aquatic fauna on Oued Lârbâa in Taza City of Morocco. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, 1-16, mar. 2021.
- LEGENDRE, P. e ANDERSON, M. J. Distance-based redundancy analysis: Testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. **Ecological Monographs**, v. 69, 1–24, fev. 1999.
- LEITE, J. N. D. C. e BECKER, V. Impacts of drying and reflooding on water quality of a tropical semi-arid reservoir during an extended drought event. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 31, 15, mar. 2019.
- LI, Z. et al. Discriminating the effects of local stressors from climatic factors and dispersal processes on multiple biodiversity dimensions of macroinvertebrate communities across subtropical drainage basins. **Science of the Total Environment**, v. 711, 134750, abr. 2020.
- LORENZEN, C.J. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. **Limnology and Oceanography**, v. 12, 343-346, abr. 1967.

MACEDO, D.R. et al. Sampling site selection, land use and cover, field reconnaissance, and sampling. **Ecological conditions in hydropower basins Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais**, v. 1, 61-83, 2014.

MELO, R. R. C. et al. Influence of extreme strength in water quality of the jucazinho reservoir, northeastern Brazil- PE. **Water**, v. 9, 955-966, dez. 2017.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, 1189-1200, jun. 2017.

MERMILLOD-BLONDIN, F. The functional significance of bioturbation and biodeposition on biogeochemical processes at the water–sediment interface in freshwater and marine ecosystems. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 30(3), 770-778, ser. 2011.

MOUILLOT, D. et al. A functional approach reveals community responses to disturbances. **Trends Ecology and Evolution**, v. 28, 167–177, nov. 2013.

NERY, T. e SCHMERA, D. The effects of top-down and bottom-up controls on macroinvertebrate assemblages in headwater streams. **Hydrobiologia**, v. 763, 173-181, jan. 2016.

NICACIO, G.e JUEN, L. Chironomids as indicators in freshwater ecosystems: an assessment of the literature. **Insect Conservation and Diversity**, v. 8, 393-403, mar. 2015.

OLIVER, S. L. e RIBEIRO, H. Variabilidade climática e qualidade da água do Reservatório Guarapiranga. **Estudos avançados**, v. 28, 95-128, dez. 2014.

PAIVA, F. F. et al. Functional threshold responses of benthic macroinvertebrates to environmental stressors in reservoirs. **Journal of Environmental Management**, v. 329, 116970, mar. 2023.

PAVOINE, S. M. E.; MARCON, E.; RICOTTA, C. ‘Equivalent numbers’ for species, phylogenetic or functional diversity in a nested hierarchy of multiple scales. **Methods Ecology e Evolution**, v. 7 (10), 1152–1163, jul. 2016.

PETERSON, A. Larvae of Insects. An Introduction to Nearctic Species. **Columbus: OHIO**. 250 p., 1960.

POFF, N. L. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 16, 391-409, jun. 1997.

POFF, N. L. et al. Functional trait niches of North American lotic insects: traits-based ecological applications in light of phylogenetic relationships. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 25 (4), 730-755, dez. 2006.

QUEVEDO, C. M. G. e PAGANINI, W. S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, 3539-3539, dez. 2011.

R Core Team. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>, 2024

RICKLEFS, Robert E. A economia da natureza. 3. ed. São Paulo: Editora, 1996. p. 470.

RICOTTA C. e MORETTI, M. CWM and Rao's quadratic diversity: a unified framework for functional ecology. **Oecologia**, v.167 (1), 181-188, mar. 2011.

SALAMEH, E. e HARAHSHEH, S. Eutrophication processes in arid climates. **Eutrophication: causes, consequences and control**, 69-90, jan. 2011.

SERRA, S.R. et al. Synthesising the trait information of European Chironomidae (Insecta: Diptera): towards a new database. **Ecological Indicators**, v. 61, 282–292, fev. 2016.

SERRA, S.R. et al. Chironomidae traits and life history strategies as indicators of anthropogenic disturbance. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189 (7), 1–16, jun. 2017.

SMITH, V.H., TILMAN, G.D.; NEKOLA, J.C. Eutrofização: impactos do excesso de nutrientes nos ecossistemas de água doce, marinhos e terrestres. **Environmental Pollution**, v. 100, 179-196, mar. 1999.

SONODA, K. C. Orientações Gerais para Avaliação de Macroinvertebrados Aquáticos em Bacias Hidrográficas. abr. 2010.

TOLEDO JR., A. P. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais, nov. 1983.

TRIVINHO-STRIXINO, S. Chironomidae (insecta, Diptera, nematocera) do estado de São Paulo, sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, 675-684, dez. 2011

XU, G., XU, Y., XU, H. Insights into discriminating water quality status using new biodiversity measures based on a trait hierarchy of body-size units. **Ecological Indicators**, v. 60, 980–986, jan. 2016.

SILVEIRA, M. P. et al. Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios. **Embrapa Meio Ambiente**, v. 68, mar. 2004.

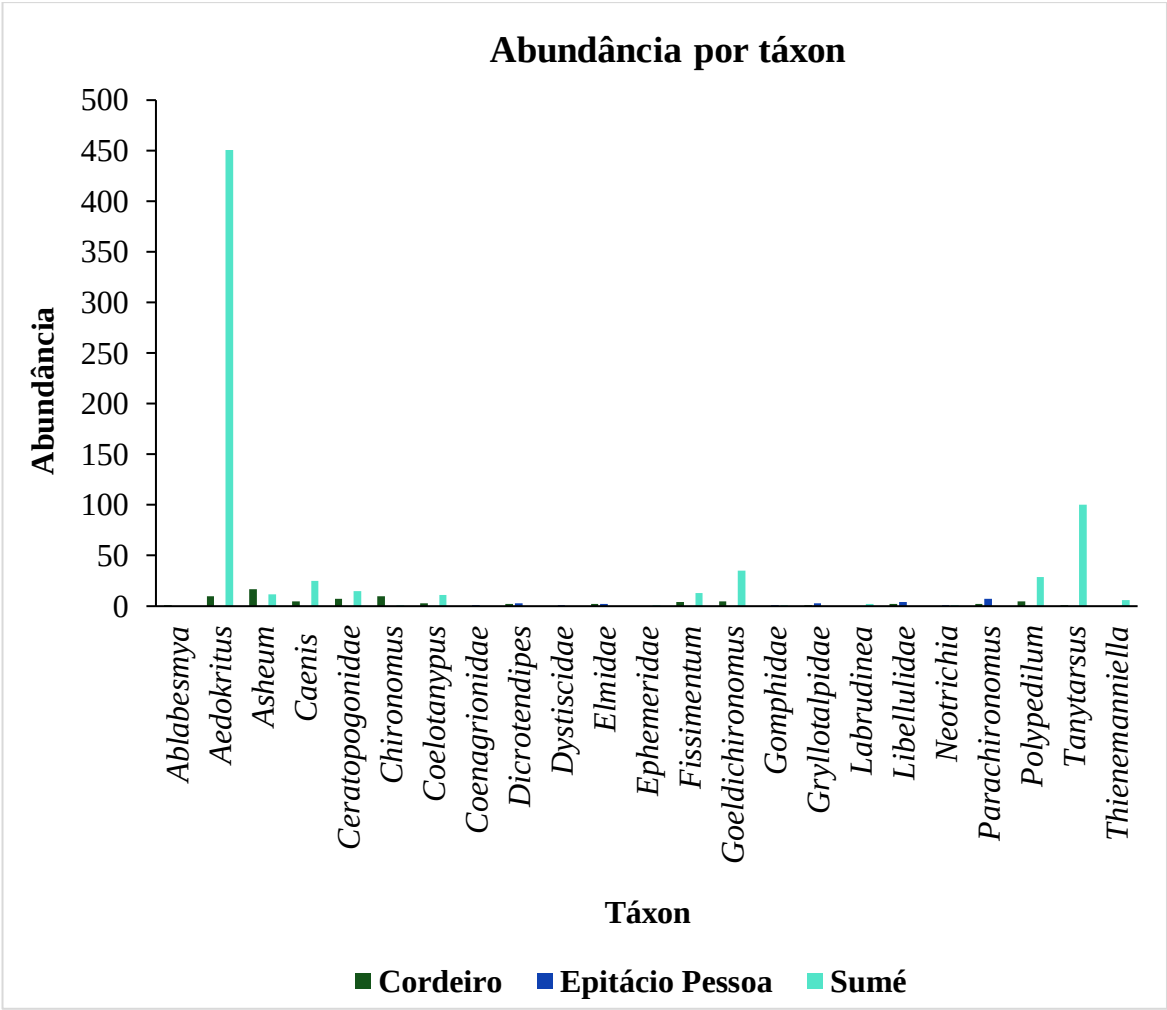
VERBERK, W. C.; SIEPEL, H.; ESSELINK, H.; Applying life-history strategies for freshwater macroinvertebrates to lentic waters. **Freshwater Biology**, v. 53 (9), 1739-1753, ago. 2008.

APÊNDICE A – TABELA DE ABUNDÂNCIA

Reservatório		Cordeiro			Epitácio Pessoa			Sumé		
Mês		dezembro	maio	total	dezembro	maio	total	dezembro	maio	total
Táxon										
<i>Ablabesmya</i>	(KIEFFER, 1913)	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Aedokritus</i>	(ROBACK, 1957)	2	8	10	0	0	0	434	17	451
<i>Asheum</i>	(OLIVER, 1971)	0	17	17	0	0	0	1	11	12
<i>Caenis</i>	(FABRICIUS, 1775)	1	4	5	0	0	0	25	0	25
<i>Ceratopogonidae</i>		5	2	7	0	0	0	15	0	15
<i>Chironomus</i>	(MEIGEN, 1804)	0	10	10	0	0	0	0	1	1
<i>Coelotanypus</i>	(FREEMAN, 1954)	0	3	3	0	0	0	11	0	11
<i>Coenagrionidae</i>		0	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Dicrotendipes</i>	(KIEFFER, 1913)	0	2	2	3	0	3	0	0	0
<i>Dystiscidae</i>		0	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Elmidae</i>		0	2	2	0	2	2	0	0	0
<i>Ephemeridae</i>		0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Fissimentum</i>	(KIEFFER, 1913)	0	4	4	0	0	0	11	2	13
<i>Goeldichironomus</i>	(FITTAU, 1962)	0	5	5	0	0	0	5	30	35
<i>Gomphidae</i>		0	0	0	0	1	1	1	0	1
<i>Gryllotalpidae</i>		1	0	1	3	0	3	0	0	0
<i>Labrundinea</i>	(MENDES, 1956)	0	0	0	0	0	0	0	2	2
<i>Libellulidae</i>		2	0	2	4	0	4	0	0	0
<i>Neotrichia</i>	(KIEFFER, 1913)	0	0	0	1	0	1	1	0	1
<i>Parachironomus</i>	(KIEFFER, 1917)	2	0	2	7	0	7	0	0	0
<i>Polypedilum</i>	(KIEFFER, 1913)	0	5	5	0	0	0	22	7	29
<i>Tanytarsus</i>	(VAN DER WULP, 1874)	0	1	1	0	0	0	43	57	100
<i>Thienemanniella</i>	(FITTAU, 1962)	0	0	0	0	0	0	6	0	6
Total		13	64	77	20	3	23	576	127	703

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

APÊNDICE B – GRÁFICO DE ABUNDÂNCIA



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

APÊNDICE C – TAMANHO DE CORPO POR TÁXON

Táxon	Tamanho Predominante
<i>Ablabesmya</i> (KIEFFER, 1913)	Pequeno
<i>Aedokritus</i> (ROBACK, 1957)	Médio
<i>Asheum</i> (OLIVER, 1971)	Pequeno
<i>Caenis</i> (FABRICIUS, 1775)	Muito pequeno
<i>Ceratopogonidae</i>	Pequeno
<i>Chironomus</i> (MEIGEN, 1804)	Médio
<i>Coelotanypus</i> (FREEMAN, 1954)	Grande
<i>Coenagrionidae</i>	Pequeno
<i>Dicrotendipes</i> (KIEFFER, 1913)	Médio
<i>Dystiscidae</i>	Médio
<i>Elmidae</i>	Pequeno
<i>Ephemeridae</i>	Muito pequeno
<i>Fissimentum</i> (KIEFFER, 1913)	Pequeno
<i>Goeldichironomus</i> (FITTAU, 1962)	Médio
<i>Gomphidae</i>	Grande
<i>Gryllotalpidae</i>	Pequeno
<i>Labrudinea</i> (MENDES, 1956)	Pequeno
<i>Libellulidae</i>	Grande
<i>Neotrichia</i> (KIEFFER, 1913)	Muito pequeno
<i>Parachironomus</i> (KIEFFER, 1917)	Pequeno
<i>Polypedilum</i> (KIEFFER, 1913)	Pequeno
<i>Tanytarsus</i> (VAN DER WULP, 1874)	Pequeno

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

APÊNDICE D – ABUNDÂNCIA DE INDIVÍDUOS / CATEGORIA POR PONTO

Reservatório	mês/ano	ponto	Frequência de indivíduos por categorias de tamanho				
			muito pequeno	pequeno	médio	grande	total
Cordeiro	dezembro (2021)	1	0	1	0	0	1
		2	0	0	0	1	1
		3	0	0	0	1	1
		4	1	1	2	0	4
		6	0	3	0	0	3
		7	0	1	0	0	1
		8	0	1	0	0	1
		15	0	1	0	0	1
	maio (2022)	1	0	2	0	0	2
		3	1	7	6	3	17
		4	3	2	0	0	5
		6	0	0	2	0	2
		8	0	1	10	0	11
		9	0	0	1	0	1
		10	0	0	1	0	1
		13	0	1	0	0	1
		14	0	18	5	0	23
		15	0	1	0	0	1
	total		5	40	27	5	77
Epitácio Pessoa	dezembro (2021)	1	0	2	0	0	2
		2	1	5	0	0	6
		5	0	3	0	0	3
		7	0	0	1	0	1
		10	0	1	0	0	1
		11	0	0	1	0	1
		12	0	0	2	0	2
		15	0	0	0	4	4
	maio (2022)	5	0	1	0	0	1
		7	0	0	0	1	1
		15	0	1	0	0	1
	total		1	13	4	5	23
Sumé	dezembro (2021)	1	0	7	33	0	40
		2	0	4	40	0	44
		3	0	7	135	0	142
		4	20	3	2	0	25
		5	0	0	0	2	2
		6	0	4	2	0	6
		7	7	3	37	0	47
		8	0	1	0	0	1
		9	0	2	4	0	6
		10	0	0	2	0	2
		11	0	0	20	1	21
		12	0	0	0	9	9
		13	6	47	59	0	112
		14	0	5	84	0	89
		15	0	9	21	0	30
	maio (2022)	1	0	0	6	0	6
		2	0	1	1	0	2
		4	0	3	2	0	5
		7	0	6	0	0	6
		8	0	58	11	0	69
		10	0	0	3	0	3
		11	0	0	1	0	1
		13	0	10	19	0	29
		15	0	0	3	0	3
	total		33	170	485	12	703

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

APÊNDICE E – RESULTADOS DA ANÁLISE PERMANOVA (IET-ESTAÇÕES)

Df	SumO fSqs	R2	F	Pr(>F)
----	-----------	----	---	--------

Permutação (Reservatórios)	1	0.00329	0.00339	0.2861	0.6419
Residual	84	0.99682	0.99661		
Total	85	0.97011	1		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

**APÊNDICE F – RESULTADOS DA ANÁLISE PERMANOVA (IET-
RESERVATÓRIOS)**

	Df	SumO fSqs	R2	F	Pr(>F)
Permutação (Reservatórios)	2	0.39362	0.40575	28.336	0.0001
Residual	83	0.57649	0.59425		
Total	85	0.97011	1		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

APÊNDICE G – RESULTADOS DA ANÁLISE PERMANOVA (CWM - ESTAÇÕES)

	Df	SumO fSqs	R2	F	Pr(>F)
Permutação (estações)	1	37367	0.02794	1.4371	0.1107
Residual	50	130013	0.97206		
Total	51	1337480	1		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

**APÊNDICE H – RESULTADOS DA ANÁLISE PERMANOVA (CWM -
RESERVATÓRIOS)**

	Df	SumO fSqs	R2	F	Pr(>F)
Permutação (Reservatórios)	2	0.248	0.07365	1.8287	0.118
Residual	46	3.119	0.92635		
Total	48	3.367	1		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

AGRADECIMENTOS

Pelo desenvolvimento desse estudo, agradeço primeiramente a Deus, por plantar o sonho de ser biólogo em meu coração e me manter resiliente, para enfrentar todas as lutas acadêmicas e pessoais ao longo dos anos da minha formação, para assim alcançá-lo, com ênfase na elaboração deste trabalho.

À minha família, destacando aos meus pais, Carlos Alberto e Maria Cristina, e avós, Maria de Fátima e Severino Pereira, pelo apoio incondicional que alicerçou o desenvolvimento dos meus valores, e capacidades pessoais, imprescindíveis para cada avanço meu enquanto indivíduo e futuro profissional biólogo.

À minha orientadora Joseline Molozzi e a minha coorientadora Dalescka Barbosa, além de toda equipe do Laboratório de Ecologia de Bentos, com destaque aos membros: Climélia Nóbrega, Érica Luana, Fabiana Andrade, Franciely Ferreira e Livia Maria, por depositarem sua confiança em mim, me conferindo um acompanhamento zeloso, sábios conselhos e oportunidades únicas e engrandecedoras, cujos impactos estão para muito além deste estudo.

Ao projeto de longa duração PELD – Rio Paraíba Integrado, pelo suporte financeiro e acadêmico à toda pesquisa realizada para elaboração desse estudo.

A todos os meus amigos, com ênfase em: Brenda Layana, Dyeggo Nathan, Gustavo Fernandes, Isaías Ferreira, Israel Cabral, Jéssika Albuquerque, José Gomes, Kleber Lelis, Lucas Dantas, Luiz Carlos e Viviane Galdino, que caminharam comigo e se constituíram uma forte rede de apoio, proporcionando momento alegres e enriquecedores, essenciais para a continuação da minha jornada acadêmica.

Ao meu psicólogo Alisson Macedo, pelo apoio emocional e por todo processo terapêutico essencial para o mantimento da minha saúde mental, durante a elaboração desse estudo.

A minha professora de Alfabetização Maria Suelane Souza, com quem convivo até os dias atuais, por ser responsável pelo aprendizado base para todos os que eu teria posteriormente.

Aos meus professores de ensino médio, Marco Túlio e Aderdilândia Iane, ambos biólogos formados na mesma instituição, que me auxiliaram a dar os primeiros passos na iniciação científica e como estudioso de biologia.

A UEPB como instituição, pelo seu corpo docente capacitado, que proporcionou uma jornada acadêmica inesquecível, repleta de experiências com as quais eu pude evoluir como cidadão e futuro profissional.

Aos meus professores de graduação, principalmente Adriane Barros, André Peçanha, Carla Bicho, Érica Caldas, José Ethan, Roberta Smania e Sérgio Lopes, enquanto grandes referências profissionais que me proporcionaram o desenvolvimento de competências essenciais para atuar como biólogo, tais como: práticas de campo, laboratório e escrita científica.

Cada pessoa da minha trajetória ocupou um espaço importante que me marcou para toda a vida, e com o auxílio delas eu pude vencer desafios e me desenvolver pessoal e profissionalmente. Agradeço a cada uma delas!