

## **A temperatura da água de riachos da Mata Atlântica influencia na abundância dos insetos aquáticos?**

Caroline de Mello Correia<sup>1</sup>  
Amanda Costa Ferreira<sup>2</sup>  
Danielle Katharine Petsch<sup>3</sup>

### *Resumo*

Os ecossistemas aquáticos continentais são vitais para diversos serviços ambientais, como, ciclagem de nutrientes, abastecimento de água e produção de peixes (Cunha & Furlan, 2023; Pedreira, 2023), ao mesmo tempo, esses ecossistemas enfrentam grandes desafios devido às atividades antrópicas e às mudanças climáticas (Dudgeon et al., 2006; Collen et al., 2014). Os riachos, em particular, abrigam uma biodiversidade única, incluindo espécies endêmicas (Ferreira et al., 2023), mas estão ameaçados por práticas como uso do solo e represamentos, além de alterações climáticas que afetam a temperatura da água e a dinâmica ecológica (Ficke et al., 2007; Caissie, 2006). Este estudo investigou a relação entre a abundância de insetos aquáticos e a temperatura da água em riachos neotropicais, realizados em dois parques estaduais no estado de São Paulo. Os resultados indicaram uma tendência de diminuição na abundância de insetos aquáticos com o aumento da temperatura ( $F(1,14)=13,52$ ;  $R^2=0,491$ ;  $p=0,002$ ), evidenciando que tanto táxons sensíveis, como Ephemeroptera, quanto táxons mais resistentes, como Coleoptera e Chironomidae, sofrem impactos negativos com o aquecimento da água. As descobertas reforçam a importância de conservar ambientes aquáticos e monitorar continuamente os efeitos das mudanças climáticas para proteger a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos essenciais. A manutenção das condições ambientais ideais é crucial para preservar a rica biodiversidade dos riachos e garantir a funcionalidade dos ecossistemas aquáticos.

**Palavras-chave:** Raridade; Mudanças climáticas; Macroinvertebrados bentônicos; Áreas de preservação

<sup>1</sup> Aluno do Programa de Pós-graduação em Biociências(mestrado)- Laboratório de Ecologia de Insetos Aquáticos- Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências e Letras - Câmpus de Assis; [caroline.m.correia@unesp.br](mailto:caroline.m.correia@unesp.br)

<sup>2</sup> Aluno do Programa de Pós-graduação em Biociências(mestrado)- Laboratório de Ecologia de Insetos Aquáticos; Laboratório de Biologia Aquática- Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências e Letras - Câmpus de Assis; [amanda.c.ferreira@unesp.br](mailto:amanda.c.ferreira@unesp.br)

<sup>3</sup> Prof. Dra. Danielle Katharine Petsch, da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências e Letras - Câmpus de Assis; Departamento de Biologia- Laboratório de Ecologia de Insetos Aquáticos



## INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos continentais têm uma vasta importância devido a gama de serviços que nos são fornecidos (Cunha & Furlan, 2023; Pedreira, 2023), como ciclagem de nutrientes, abastecimento de águas e produção de peixes. Entretanto, são os ambientes mais impactados do planeta (Dudgeon et al., 2006; Collen et al., 2014). Os riachos além de proporcionar serviços ecossistêmicos, abrigam uma biodiversidade singular de espécies, pois possuem características exclusivas, sendo algumas endêmicas destes riachos (Ferreira et al, 2023).

As atividades antrópicas (e.g. uso do solo, pecuária, represamentos) têm levado à perda de serviços ecossistêmicos cruciais (Petsch et al., 2022) e para além delas, outra ameaça crucial aos ecossistemas aquáticos são as mudanças climáticas. Os corpos d'água doce também são atingidos pela elevação das temperaturas globais já que o aquecimento afeta o ecossistema, alterando por exemplo, as taxas de reprodução (Ficke, et. al. ,2007) além de forçar a migração de espécies sensíveis (Caissie, 2006), modificando assim a composição das comunidades ecológicas.

A abundância dos insetos aquáticos, pode ser um indicativo de qualidade dos ecossistemas, pois muitos insetos aquáticos são sensíveis às mudanças climáticas e alteração do meio como poluição, turbidez, oxigênio dissolvido, e variações de temperatura (Covich et al., 1999; Tampo et al., 2021). Com isso, a presença e ausência de alguns táxons de insetos aquáticos podem indicar mudança na qualidade do habitat (e.g. presença de poluição orgânica, alteração no nível de oxigênio dissolvido e alteração na quantidade de nutrientes). A redução da abundância de insetos pode levar ao desequilíbrio na biodiversidade da comunidade (Martins et al.,2014), pois ecossistemas que possuem alta abundância e biomassa de insetos aquáticos tendem a sustentar maior produtividade secundária e redes alimentares complexas.

Nos sistemas lóticos como rios e riachos, os macroinvertebrados bentônicos são diversos e cruciais para manter os funcionamentos dos ecossistemas. Eles são fortemente influenciados pelas condições ambientais, como a temperatura e possuem relativamente uma mobilidade baixa (Moretti & Callisto, 2005; Würdig et al., 2007; Petsch et al., 2013). Com os cenários de aquecimento previstos pelo IPCC 2023, os corpos d'água continentais podem estar diante de drásticas mudanças em suas comunidades, principalmente em algumas assembleias que são mais sensíveis ao estresse ambiental (Rosenberg & Resh, 1993), como Ephemeroptera, Plecopetra e Trichoptera que são comumente utilizadas no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos.



Tendo em vista os cenários de aquecimentos previstos, o principal objetivo desse estudo foi investigar a relação de abundância dos insetos aquáticos, incluindo taxons mais sensíveis ou mais resistentes, com a temperatura da água em riachos neotropicais.

## EXTREMOS CLIMÁTICOS, IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

### METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido a partir de coletas nos Parques Estaduais Carlos Botelho e Parque Estadual Intervales, localizados no estado de São Paulo. O Parque Estadual Carlos Botelho foi estabelecido a partir do decreto de 19.499 de setembro de 1982 organizado em dois núcleos geográficos (PE Carlos Botelho, 2023), na região de São Miguel Arcanjo e Sete Barras. O Parque Estadual Intervales foi tombado e declarado Reserva Biosfera da Mata Atlântica em 1991 (Lei federal 9.985/2000), localizado nos municípios de Guapiara, Eldorado Paulista, Iporanga, Ribeirão Grande e Sete Barras.

Os parques são unidades de conservação conectadas sendo importantes devido aos corredores ecológicos interligados à remanescentes da Mata Atlântica do Brasil, abrigando importantes afluentes da bacia hidrográfica do rio Ribeira.

As coletas foram realizadas nos meses de abril e maio de 2024, amostrando 8 pares de riachos, totalizando 16 riachos. Em cada par, foi determinado um trecho de cabeceira (primeira ou segunda ordem sensu Strahler 1957) e um trecho de posição central (terceira ou quarta ordem sensu Strahler 1957).

Os macrobentos foram amostrados através de uma rede kick-net (malha 0,250mm) em trechos de corredeira por dois minutos, compondo quatro subamostras de 30 segundos cada. As amostras foram fixados em campo com álcool 92,8% e água ambiente, guardado em potes etiquetados e conduzidos ao laboratório onde foram triados e identificados a nível de ordem com auxílio de microscópio estereoscópio, e chaves de identificação como Domínguez & Fernández (2009) e Hamada et al. (2014).

As variáveis limnológicas utilizadas foram coletadas através da sonda multiparâmetro Horiba, em réplicas em cada trecho coletado. Foi feita uma análise de regressão linear simples para avaliar a relação entre a temperatura (°C) e abundância dos insetos aquáticos. Todos os dados foram analisados usando os pacotes: *vegan* (Oksanen et al., 2020) e *ggplot2* (Wickham, 2016) do programa R (R Core Team 2023).

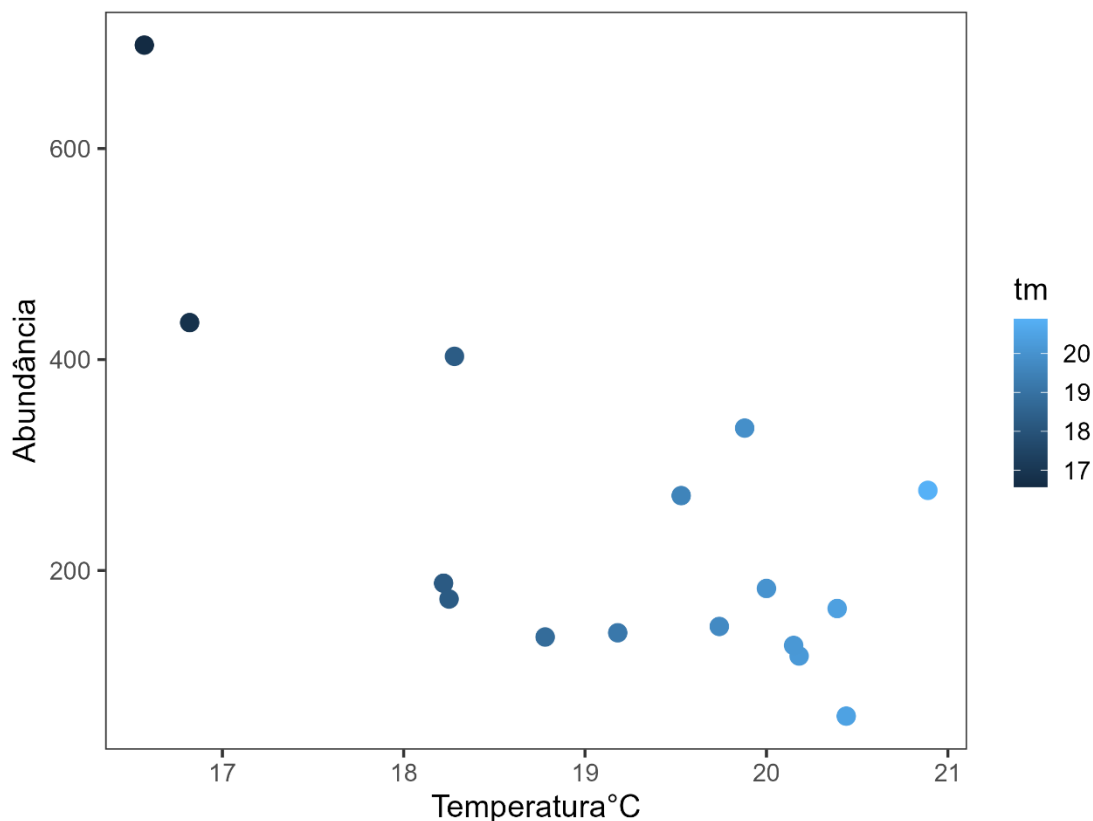
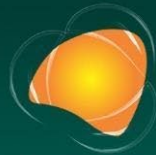


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse estudo foram registrados 3861 indivíduos de insetos aquáticos bentônicos. O Parque Estadual Intervales (PEI) teve 1430 indivíduos e o Parque Estadual Carlos Botelho (PECB) obteve maior abundância com 2431 indivíduos. Quando relacionados aos táxons, o táxon de maior abundância descrito nos dois parques foi o Coleoptera com 1031 indivíduos, seguido de Ephemeroptera com 873 indivíduos.

A diversidade de espécies pode ter um declínio devido às mudanças climáticas, pois nestas futuras condições apenas algumas espécies mais resilientes e adaptadas conseguem se manter no ambiente (Durance, & Ormerod, 2007; Malmqvist, & Hoffsten, 2000). Tratando apenas de táxons mais sensíveis (EPT) como os apontados nos estudos, o táxon de Ephemeroptera mostra uma abundância alta, e por se tratar de um ambiente conservado, ainda vemos uma maior predominância de táxons mais resistentes como os Trichoptera (500 indivíduos) em relação por exemplo aos Plecoptera que possui 260 indivíduos.

Quando analisado a correlação de abundância dos insetos aquáticos com a temperatura média dos riachos, nós observamos uma tendência de diminuição do número de indivíduos encontrados com o aumento da temperaturas ( $F_{(1,14)}=13,52$ ;  $R^2=0,491$ ;  $p=0,002$ ), (Figura 1; Tabela 1).



**Figura 1**– Gráfico de dispersão ilustrando a relação entre a abundância de insetos aquáticos (número de indivíduos) e a temperatura da água dos riachos (°C). Os pontos representam diferentes mensurações onde a cor indica a temperatura média da água (tm), variando de 17°C a 21°C.

**Tabela 1**-Tabela da regressão linear simples apontando a significância do teste.

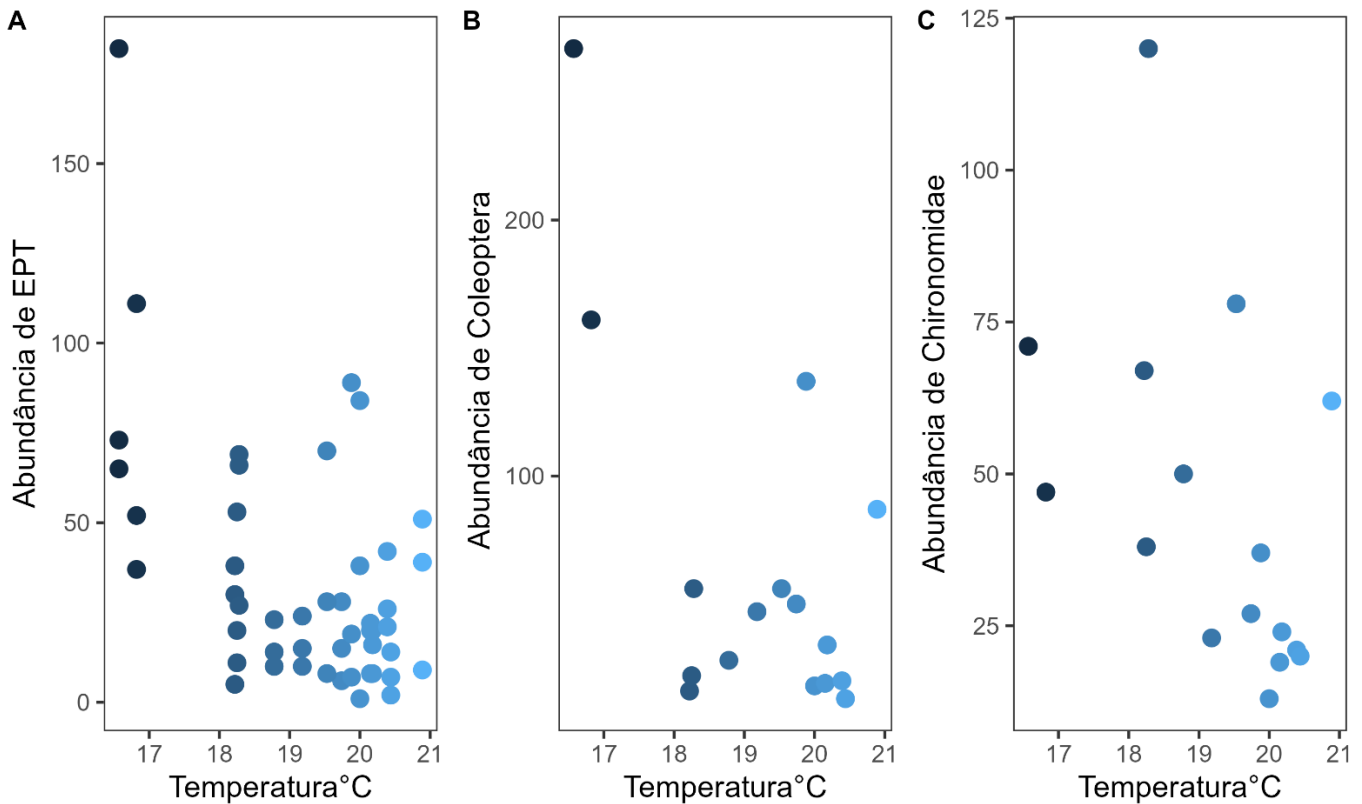
Coeficientes				
	Estimativa	Erro Padrão	Valor T	P valor
<b>Intercepto</b>	1931,38	461,50	4,185	0,0009
<b>Temperatura</b>	-88,17	23,98	-3,677	0,0024

Os resultados do nosso estudo vão de encontro com resultados de outros estudos que demonstram que os táxons mais sensíveis como; Plecoptera e Ephemeroptera, sofrem uma redução significativa em temperaturas maiores que 18°C (Hogg 1996; Hamilton et al. 2010; Santiago et al.,2023). Esses resultados sugerem que esses táxons preferem águas com temperaturas mais frias,



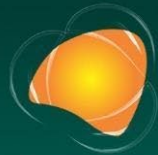
impactando diretamente na distribuição e diversidade. Entretanto, nós encontramos que tantos os táxons mais sensíveis como EPT (Figura 2A) quanto os mais resistentes como Coleoptera (Figura 2B) e Chironomidae (Figura 2C) tiveram a abundância reduzida em águas mais quentes.

### EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS



**Figura 2-** Gráficos de dispersão ilustrando a relação entre a abundância de organismos dos táxons EPT (A), Coleoptera (B) e da família Chironomidae (C) e a temperatura da água. Os pontos representam abundância dos organismos onde a cor indica a temperatura média da água, variando de 17°C (tons mais escuros) a 21°C (tons mais claros).

Avaliando o grau de tolerância de insetos aquáticos, todos os grupos tiveram a mesma tendência. Os táxons mais sensíveis EPT, tal como encontrado em outros estudos (Barbola et al., 2011; Batista et.al., 2022), como os intermediários Coleoptera e tolerantes da família de Chironomidae do táxon Díptera, em que conforme a temperatura aumentava a abundância dos grupos diminuía. Por fim, é importante mencionar que outras variáveis abióticas podem interferir conjuntamente nesses resultados, como a disponibilidade de oxigênio dissolvido, que é geralmente maior em águas mais frias.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados, nós observamos que mesmo os insetos aquáticos com alto grau de tolerância como a família de Chironomidae da ordem Díptera, ainda que possuam uma alta resiliência, com o aumento da temperatura há uma queda significativa em sua abundância. O mesmo acontece com os táxons intermediários Coleoptera e os táxons sensíveis como Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera.

Nós também observamos um táxon sensível Ephemeroptera tendo uma grande quantidade de indivíduos, perdendo somente para Coleoptera, sugerindo que os ambientes sem interferência humana mantêm características ecológicas que dão suporte a toda uma biodiversidade.

A forte correlação negativa vista entre abundância de indivíduos e a temperatura da água dos riachos é um alerta para as mudanças climáticas que vêm ocorrendo, pois à medida que as temperaturas vão se elevando, podemos ter uma perda significativa de táxons como Plecoptera, que em relação a abundância é o táxon sensível com o menor número de indivíduos. Esses padrões são fundamentais para destacar a importância das unidades de conservação e dos ambientes preservados, garantindo a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos ecossistemas de água doce. Além disso, é importante o monitoramento contínuo dos impactos, especialmente nesse cenário de mudanças climáticas que vivenciamos.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão ao CNPq pelo financiamento através do projeto Universal (Processo: 403223/2023-7), ao Laboratório de Insetos Aquáticos (LEIA) pelo apoio, e a todos que



## REFERÊNCIAS

- BARBOLA, Ivana F. et al. Avaliação da comunidade de macroinvertebrados aquáticos como ferramenta para o monitoramento de um reservatório na bacia do Rio Pitangui, Paraná, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 101, p. 15-23, 2011.
- BATISTA, R. S.; DE SOUZA, A. R.; LÁZARO, W. L.; MUNIZ, C. C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S. Uso de macroinvertebrados aquáticos na bioindicação de ambientes transformados no Pantanal, Centro-Oeste do Brasil. *Gaia Scientia*, [S. l.], v. 16, n. 1, 2022. DOI: 10.22478/UFPB.1981-1268.2022V16N1.60827. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/article/view/60827>.
- CAISSIE, D. The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biology*, v. 51, n. 8, p. 1389-1406, 2006.
- COLLEN, B. et al. Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. *Global Ecology and Biogeography*, v. 23, n. 1, p. 40-51, 2014.
- COVICH, A. P.; PALMER, M. A.; CROWL, T. A. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems: zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. *BioScience*, v. 49, n. 2, p. 119-127, 1999.
- CUNHA, A. F. M.; FURLAN, S. A. Serviços ecossistêmico de provisão hídrica em áreas urbanizadas e não urbanizadas da Ilha de São Sebastião-SP. *Boletim Paulista de Geografia*, v. 1, n. 110, p. 139-163, 2023.
- DOMÍNGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, H. R. Macroinvertebrados bentônicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. 2009.
- DURANCE, I.; ORMEROD, S. J. Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology*, v. 13, n. 5, p. 942-957, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01340.x
- FICKE, A. D.; MYRICK, C. A.; HANSEN, L. J. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 17, p. 581-613, 2007.
- FERREIRA, V. et al. Ecosystem services provided by small streams: an overview. *Hydrobiologia*, v. 850, n. 12, p. 2501-2535, 2023.
- HAMILTON, A. T.; STAMP, J. D.; BIERWAGEN, B. G. Vulnerabilidade de métricas biológicas e índices multimétricos para efeitos das mudanças climáticas. *Journal of the North American*





## EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. Insetos aquáticos na Amazônia Brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. Manaus. Editora do INPA, 2014.

HOGG, I. D.; WILLIAMS, D. D. Resposta de invertebrados de riachos a um regime térmico de aquecimento global: uma manipulação em nível de ecossistema. *Ecologia*, v. 77, p. 395-407, 1996.

IPCC. Climate change 2023: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 35-115, 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

LEI N° 9.985 de 18/07/2000, Lei n.º 9985 (2000, 19 de julho) (Brasil). Diário Oficial da União. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/551861>.

MALMQVIST, B.; HOFFSTEN, P. O. Macroinvertebrate taxonomic richness, community structure and nestedness in Swedish streams. *Archiv für Hydrobiologie*, v. 149, n. 1, p. 35-53, 2000.

MARTINS, R. T.; DE OLIVEIRA, V. C.; SALCEDO, A. K. M. Uso de insetos aquáticos na avaliação de impactos antrópicos em ecossistemas aquáticos. 2014.

MORETTI, M. S.; CALLISTO, M. Biomonitoração de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Doce. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 17, p. 267-282, 2005.

OKSANEN, J. et al. Vegan: Community ecology package. R package version 2.2-1. Disponível em: <http://cran.r-project.org/package=vegan>.

PEDREIRA, B. A relação entre as interferências antrópicas e os serviços ecossistêmicos. 2023.

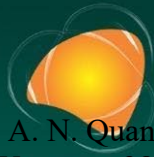
PETSCH, D. K. et al. Influência dos fatores ambientais sobre a distribuição da comunidade de invertebrados bentônicos em canais secundários e principal de uma planície de inundação neotropical. *Biotemas*, v. 26, p. 127-138, 2013.

PETSCH, D. K. et al. Ecosystem services provided by river-floodplain ecosystems. *Hydrobiologia*, p. 1-22, 2022.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates. In: *Freshwater Biomonitoring and Benthics Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York, USA, 1993.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021.

SANTIAGO, Luna; BEASLEY, Colin Robert. Benthic macroinvertebrates associated with riparian habitat structural diversity in an eastern Amazon stream urbanization gradient. *Floresta e Ambiente*, v. 30, n. 3, p. e20220092, 2023.



TAMPO, L. et al. Benthic macroinvertebrates as ecological indicators: their sensitivity to the water quality and human disturbances in a tropical river. *Frontiers in Water*, v. 3, p. 662765, 2021.

WICKHAM, H. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York, 2016. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>

WÜRDIG, N. L.; CENZANO, C. S. S.; MOTTA-MARQUES, D. Macroinvertebrate communities structure in different environments of the Taim hydrological system in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 19, n. 4, p. 427-438, 2007.