

MACROINVERTEBRADOS AQUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE SEGURANÇA HÍDRICA EM UMA ÁREA DE INTERAÇÃO HIPORREICA (BROTAS, SP)

Daniel Peroni Abrahão¹; José Gescilam S. M. Uchôa¹; José A. C. Ayllon¹; Juliano J. Corbi¹; Edson C. Wendland¹

RESUMO – A segurança hídrica frente a eventos climáticos extremos exige ferramentas eficientes de monitoramento biológico. Este estudo avaliou a estrutura das assembleias de macroinvertebrados aquáticos como bioindicadores em três pontos (S1, S2 e S3) com diferentes níveis de interação com o lençol freático (zona hiporreica) no Ribeirão da Onça, Brotas/SP. As coletas foram realizadas com rede "D" em cinco campanhas ao longo de 16 meses, abrangendo os períodos de seca e chuva. Os índices ecológicos revelaram variações nítidas entre os trechos. O ponto S2 apresentou a maior complexidade ecológica, registrando a maior riqueza observada (12 táxons) e os maiores valores de diversidade de Shannon (1,499) e Simpson (0,6301). Em contraste, o ponto S3, apesar de registrar a maior abundância absoluta (107 indivíduos), exibiu uma comunidade simplificada, marcada por baixa diversidade (0,8723) e alta dominância (0,6085). Os resultados indicam que trechos com maior conectividade e estabilidade hiporreica sustentam comunidades biologicamente mais equilibradas e resilientes. Conclui-se que o uso de macroinvertebrados associado a zonas de transição hidrológica constitui uma valiosa ferramenta indicadora para subsidiar a gestão e garantir a segurança hídrica em bacias hidrográficas sazonais.

Palavras-Chave – Zona Hiporreica, Monitoramento Biológico, Ribeirão da Onça.

ABSTRACT– Water security in the face of extreme climate events demands efficient biological monitoring tools. This study evaluated the structure of aquatic macroinvertebrate assemblages as bioindicators at three sampling sites (S1, S2, and S3) featuring different levels of interaction with the water table (hyporheic zone) in the Onça Creek, Brotas/SP. Sampling was conducted using a "D" net during five campaigns over 16 months, covering both dry and rainy seasons. Ecological indices revealed clear spatial variations. Site S2 exhibited the highest ecological complexity, showing the greatest taxonomic richness (12 taxa) and the highest Shannon (1.499) and Simpson (0.6301) diversity values. In contrast, site S3, despite hosting the highest Absolute abundance (107 individuals), presented a simplified community characterized by low diversity (0.8723) and high Dominância (0.6085). The results indicate that reaches with greater hyporheic connectivity and stability support biologically more balanced and resilient communities. It is concluded that using macroinvertebrates associated with hydrological transition zones serves as a valuable indicator tool to support management and ensure water security in seasonal watersheds.

Key-words – Hyporheic Zone, Biological Monitoring, Onça Creek.

INTRODUÇÃO

A segurança hídrica, há pouco tempo, era preocupação apenas de países e regiões com pouca disponibilidade hídrica ou que sofriam com condições climáticas adversas. Hoje essa preocupação se

1) Department of Hydraulics and Sanitation, São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, SP, Brazil.
danielperoniabrahao@gmail.com

estendeu a todas as nações e tem como princípio garantir e disponibilizar água em quantidade adequada e de boa qualidade para toda a população e isso tem sido um grande desafio para a atualidade (ambrosio et al., 2024). Podemos citar o Brasil, um país com grande disponibilidade de água doce, que recentemente tem tido problemas com baixos níveis de segurança hídrica, tanto em questão de quantidade como de qualidade (Lemos et al, 2020), pois com a crescente taxa de eventos climáticos extremos, especialmente maiores períodos de estiagem, tem sido um desafio para as instituições e organizações de gestão de recursos hídricos prevenir e responder a estes eventos. Entre 2013 e 2016 houve um período de estiagem onde um quarto das cidades brasileiras declararam estado de emergência (ANA 2017). Tendo períodos de estiagem com impactos devastadores em várias regiões do país, como no Nordeste e no Sudeste, que provou a fragilidade do sistema de gestão dos recursos hídricos e repercutem até os dias atuais (Lemos et al., 2020). O aprimoramento da resiliência e da capacidade adaptativa dos sistemas hídricos frente a eventos climáticos extremos consolidou-se como uma diretriz estratégica para a gestão de recursos hídricos no Brasil (Lemos et al., 2020). Para tal situação, quanto maiores forem nossas informações, melhor os órgãos responsáveis podem agir (Hill et al., 2014), porém, apesar de todos os avanços da ciência e da tecnologia os desafios relacionados a seca têm se intensificado nos últimos anos, e tendenciando a se aprofundarem com os impactos potenciais das mudanças climáticas, mesmo sendo um fenômeno natural, a intensidade e o período tem aumentado nos últimos anos, sendo a causa as mudanças climáticas (Mukherjee et al, 2018; Ambrosio et al., 2024). Compreender o funcionamento das bacias hidrográficas é essencial para garantir a segurança hídrica no Brasil, uma vez que o ciclo da água apresenta particularidades em diferentes regiões. As bacias, enquanto unidades naturais de captação, armazenamento e distribuição hídrica, têm sua dinâmica profundamente influenciada por inúmeros fatores antrópicos, dentre eles expansão urbana desordenada, desmatamento, práticas inadequadas de manejo de solo e mudanças climáticas. Tais fatores podem comprometer significativamente a capacidade de prover água em quantidade e qualidade adequada para a região e resultar em riscos para a segurança hídrica do local (ANA, 2020). Além dos compartimentos superficiais dos sistemas fluviais, existem zonas fundamentais para a manutenção dos processos ecológicos e para a restauração de rios e córregos, dentre as quais se destaca a zona hiporreica. Essa região, localizada na interface entre a água superficial e o lençol freático, desempenha papel essencial na ciclagem de nutrientes, na regulação térmica, na retenção de matéria orgânica e na manutenção da biodiversidade, sendo, portanto, crucial para a segurança hídrica. A zona hiporreica atua como reguladora do fluxo na interação entre rio e aquífero, além de funcionar como um biorreator onde diversos processos biogeoquímicos ocorrem, fornecendo um importante serviço ecossistêmico de purificação da água e servindo como uma

barreira natural contra a contaminação dos aquíferos. Nesse contexto, a conservação da zona hiporreica é considerada condição essencial para a manutenção da saúde ecológica do ecossistema fluvial (Carvalho Filho et al., 2024). Diante desse cenário, a adoção de indicadores de segurança hídrica constitui uma ferramenta fundamental para o monitoramento e a gestão eficiente dos recursos hídricos. Esses instrumentos possibilitam a redução de custos operacionais, a simplificação de processos e a integração de informações técnicas e espaciais, promovendo análises mais robustas e embasadas sobre as condições hídricas de uma determinada localidade (OECD, 2013; Ferreira, 2024). É amplamente reconhecido que os macroinvertebrados aquáticos desempenham diversos papéis ecológicos na natureza, tanto individualmente quanto em comunidade, sendo altamente dependentes das condições ambientais para exercerem seus processos biológicos, como desenvolvimento e reprodução. Devido à sua sensibilidade a alterações físicas, químicas e orgânicas nos ambientes aquáticos, esses organismos destacam-se como excelentes bioindicadores de segurança hídrica. Esses organismos têm sido comumente usados como indicadores biológicos da saúde do ecossistema (Kay et al., 1999), embora existam muitos outros indicadores da saúde do ecossistema aquático. Trabalhos como o de Corbi (2006) evidenciam esse potencial, demonstrando que estes organismos são utilizados como indicadores ambientais, também podem ser utilizados como ferramentas para a avaliação dos ecossistemas que habitam e os rodeiam, através da produção secundária (Waters, 1977; Downing, 1984; Benke, 1984; Mello et al., 2020; Guker et al., 2024; Abrahao, 2025). Estes organismos são diretamente impactados por alterações nos sistemas aquáticos, refletindo na oscilação do tamanho de sua população. O conhecimento sobre a comunidade dos macroinvertebrados permite inferir a qualidade da água e detectar fatores que estejam promovendo estabilidade ou desestabilização ecológica. Sua sensibilidade às variações nas condições ambientais os torna ferramentas valiosas para diagnósticos ambientais e monitoramento da integridade dos ecossistemas (Chagas, 2017; Dantas, 2022).

MÉTODOS

A área de estudo está localizada na bacia do ribeirão da onça, no município de Brotas, inserida na região central do estado de São Paulo. A bacia é caracterizada por uso predominante do solo voltado à agricultura e pastagem, inserida em uma região de clima tropical sazonal, com estações bem definidas de seca e chuva ao longo do ano. O ribeirão da onça tem sido amplamente estudado sob a perspectiva hidrológica e hidrogeológica, 20 anos, constituindo uma área experimental consolidada para investigações relacionadas à dinâmica entre águas superficiais e subterrâneas. A geologia local favorece a interação entre o curso d'água e o aquífero freático, resultando na formação de zonas hiporreicas bem definidas, que desempenham papel fundamental na regulação térmica, no fluxo de

nutrientes e na estruturação das comunidades biológicas aquáticas. As coletas foram realizadas em três pontos amostrais ao longo do curso d'água, denominados S1, S2 e S3. O ponto S1 está localizado nas coordenadas 22°12'56,03" S e 47°58'1,92" O; o ponto S2 em 22°12'58,47" S e 47°58'2,22" O; e o ponto S3 em 22°13'1,39" S e 47°58'2,57" O (figura 1). Os pontos foram definidos com base em diferentes níveis de interação entre a água superficial e o aquífero freático, permitindo a avaliação da influência da zona hiporreica sobre a estrutura das assembleias de macroinvertebrados.

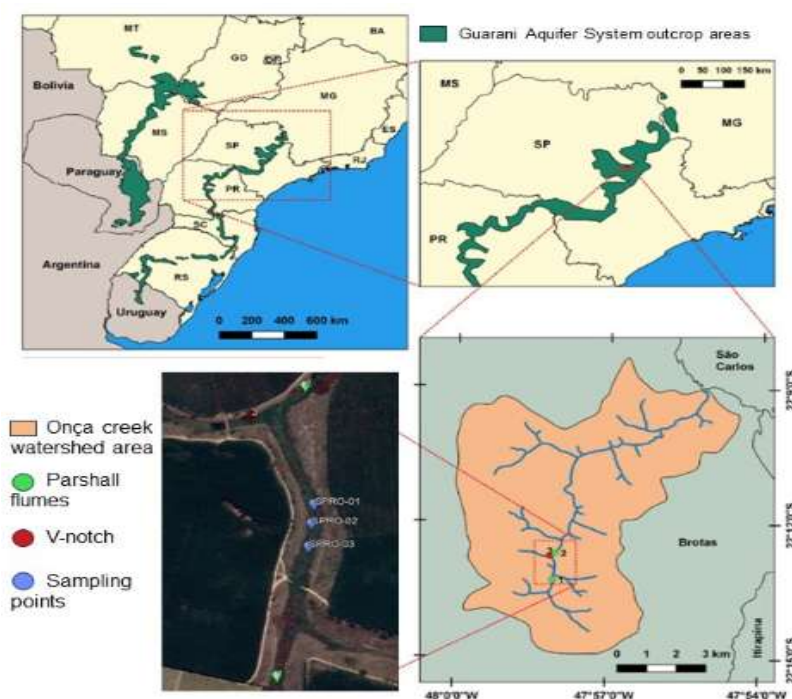


Figura 1 – ribeirão da onça e pontos que interagem com o lençol freático

Fonte: autores (2024).

As campanhas de amostragem foram realizadas ao longo de um período de aproximadamente 16 meses, compreendendo diferentes épocas do ano, entre junho de 2023 e outubro de 2024. As coletas ocorreram nas seguintes datas: 29 de junho de 2023, 17 de agosto de 2023, 20 de abril de 2024, 29 de junho de 2024 e 12 de outubro de 2024. Esse delineamento temporal permitiu contemplar variações sazonais, incluindo períodos de estiagem e chuvosos, possibilitando uma avaliação mais abrangente da dinâmica das assembleias de macroinvertebrados ao longo do tempo. A distribuição das campanhas ao longo de diferentes estações contribui para uma melhor compreensão das variações na estrutura da comunidade, uma vez que fatores como regime hidrológico, temperatura e disponibilidade de recursos podem influenciar diretamente a composição e abundância dos organismos. As amostragens de macroinvertebrados bentônicos foram realizadas utilizando um amostrador do tipo rede “d”, amplamente empregado em estudos de biomonitoramento em ambientes lóticos. Em cada ponto amostral, foi adotado um esforço padronizado de 3 minutos, durante os quais

foi realizada a varredura ativa do substrato, incluindo diferentes micro-habitats disponíveis no leito do curso d'água, como sedimentos, folhas e estruturas submersas (Corbi et al., 2006; Corbi e Trivinhostrixino, 2008; Corbi et al, 2021; de Moura et al., 2026). Esse procedimento visa maximizar a representatividade da fauna coletada, permitindo a obtenção de uma amostra mais abrangente da comunidade presente. A padronização do tempo de coleta entre os pontos assegura a comparabilidade dos dados, reduzindo vieses associados ao esforço amostral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura das assembleias de macroinvertebrados apresentou variações entre os pontos amostrados no ribeirão da onça, como podemos ver na tabela 1. O ponto S2 apresentou maior riqueza (Táxons = 12 (Figura 2); Chao-1 = 33) e diversidade (Shannon = 1,499 (Figura 3); Simpson = 0,6301 (Figura 4)), enquanto S1 apresentou valores intermediários (Shannon = 1,079). Em contraste, o ponto S3 apresentou maior abundância de indivíduos ($n = 107$), porém menor diversidade (Shannon = 0,8723) e maior dominância (Dominância (Figura 5) = 0,6085), indicando uma comunidade simplificada e dominada por poucos táxons.

Tabela 1 – Índices ecológicos

Índices/Pontos	S3	S2	S1
Táxons	9	12	7
Individuals	107	81	58
Dominância_D	0,609	0,37	0,456
Simpson_1-D	0,392	0,63	0,544
Shannon_H	0,872	1,499	1,079
Evenness_e^H/S	0,266	0,373	0,42
Margalef	1,712	2,503	1,478
Equitabilidade_J	0,397	0,603	0,555
Fisher_alpha	2,341	3,893	2,082
Berger-Parker	0,766	0,58	0,621
Chao-1	14	33	13

Fonte: autores (2026).

A estrutura das assembleias de macroinvertebrados apresentou variações entre os pontos amostrados no Ribeirão da Onça, como podemos ver na Tabela 1. O ponto S2 apresentou maior riqueza (Táxons = 12 (Figura 2); Chao-1 = 33) e diversidade (Shannon = 1,499 (Figura 3); Simpson = 0,6301 (Figura 4)), enquanto S1 apresentou valores intermediários (Shannon = 1,079). Em contraste, o ponto S3 apresentou maior abundância de indivíduos ($n = 107$), porém menor diversidade (Shannon = 0,8723)

e maior dominância (Dominância_D (Figura 5) = 0,6085), indicando uma comunidade simplificada e dominada por poucos táxons.

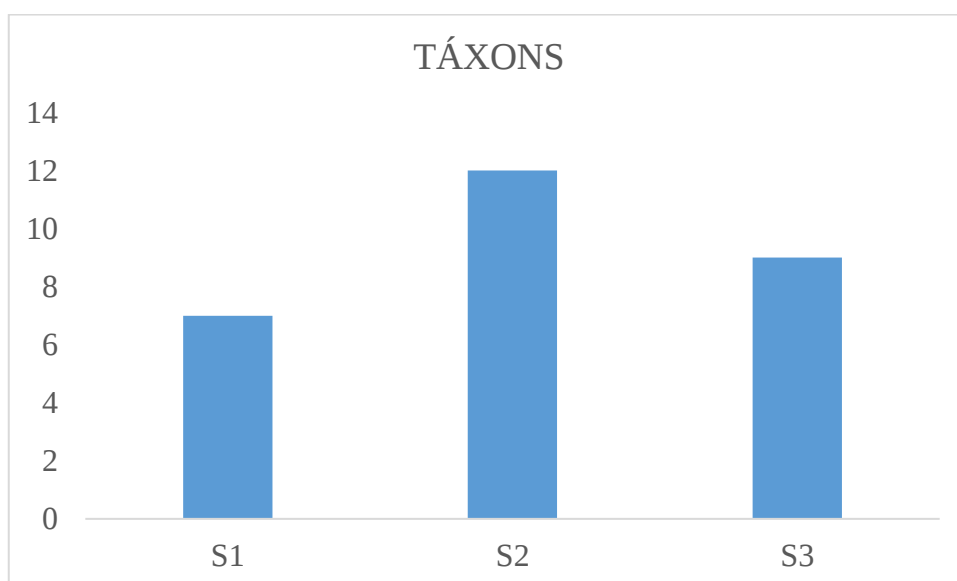


Figura 2 – Gráfico Táxons

Fonte: autores (2026)

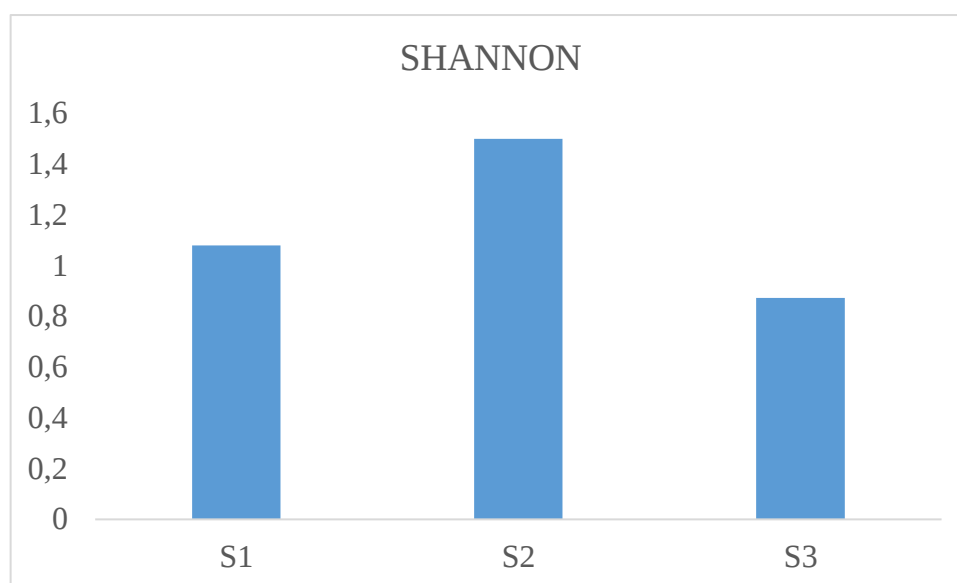


Figura 3 – Gráfico Shannon_H

Fonte: autores (2026)

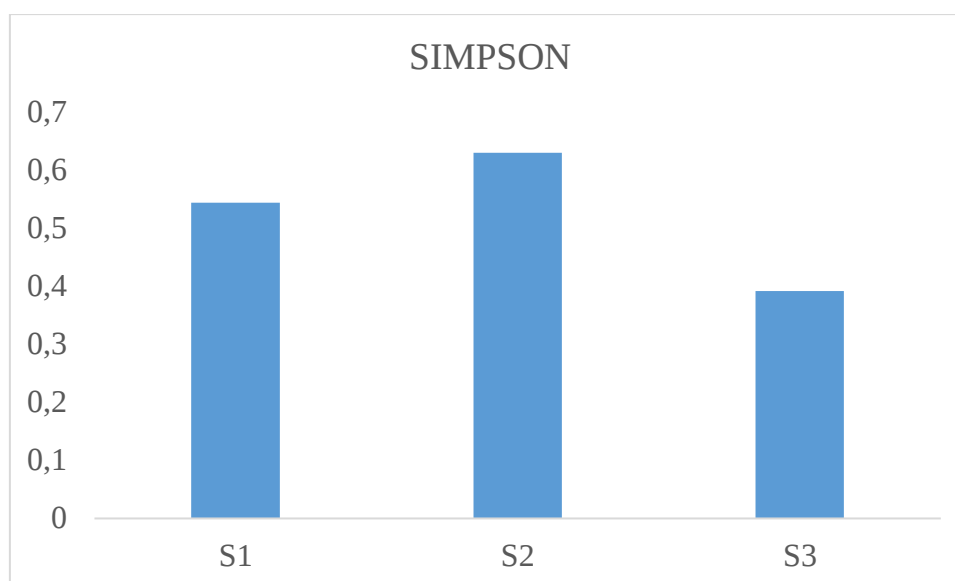


Figura 4 – Gráfico Simpson_1-D

Fonte: autores (2026)

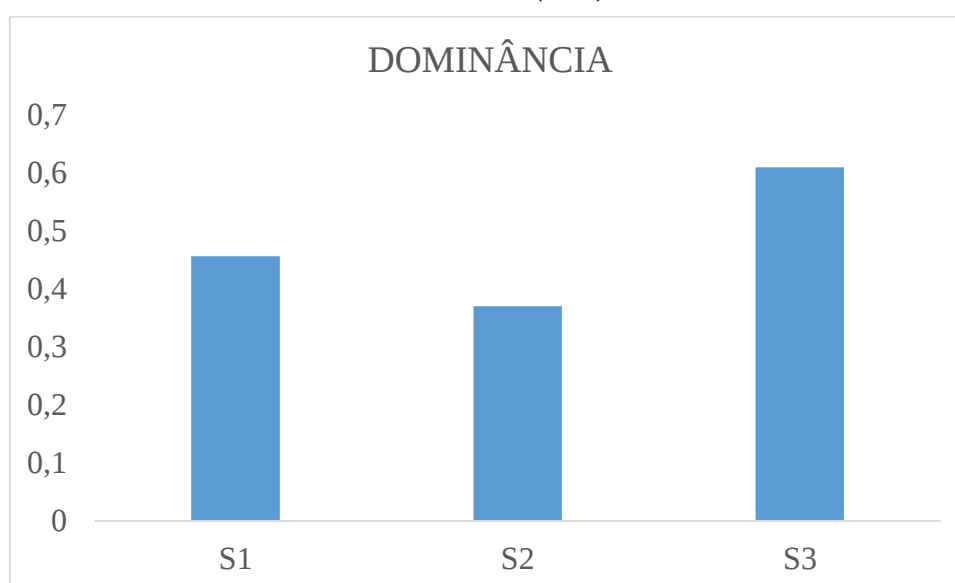


Figura 5 – Gráfico Dominância_D

Fonte: autores (2026)

A análise da riqueza de táxons evidenciou diferenças entre os pontos amostrados, com o padrão $S2 > S3 > S1$. O ponto S2 apresentou a maior riqueza observada (12 táxons), além da maior estimativa de riqueza ($Chao-1 = 33$), indicando não apenas maior número de organismos registrados, mas também um elevado potencial de ocorrência de táxons não amostrados. Os valores mais elevados de riqueza em S2 sugerem maior complexidade ecológica, possivelmente associada a uma maior heterogeneidade de habitats e maior estabilidade ambiental. Em contraste, os pontos S3 e S1 apresentaram menores valores de riqueza, o que pode refletir condições ambientais mais restritivas ou menor diversidade de micro-habitats disponíveis. Dessa forma, os resultados indicam que o ponto

S2 possui maior potencial para manutenção da biodiversidade, sendo provavelmente influenciado por condições ambientais mais favoráveis ao estabelecimento de diferentes grupos de macroinvertebrados. A análise dos índices de diversidade revelou um gradiente entre os pontos amostrados, seguindo o padrão $S2 > S1 > S3$. O ponto S2 apresentou os maiores valores para os índices de Shannon (1,499), Simpson (0,6301) e Fisher (3,893), indicando uma comunidade mais diversa e com distribuição mais equilibrada de abundâncias entre os táxons. Esses resultados sugerem que, além de possuir maior riqueza, S2 apresenta uma estrutura comunitária mais complexa, com menor predominância de poucos grupos dominantes. Em contraste, os pontos S1 e S3 apresentaram valores inferiores de diversidade, sendo que S3 apresentou os menores índices, refletindo uma comunidade menos diversa e potencialmente mais sujeita à dominância de determinados táxons. Dessa forma, os índices de diversidade reforçam a evidência de que o ponto S2 apresenta condições ambientais mais favoráveis à manutenção de uma comunidade biologicamente mais equilibrada e estruturada. A análise da equitabilidade indicou um padrão semelhante entre os pontos S1 e S2, ambos apresentando valores mais elevados quando comparados ao ponto S3. Em especial, S3 apresentou a menor equitabilidade (Evenness = 0,26), evidenciando uma distribuição desigual das abundâncias entre os táxons. Esse resultado indica que, nesse ponto, poucos grupos concentram grande parte dos indivíduos, refletindo uma estrutura comunitária menos uniforme. Esse padrão é reforçado pelos índices de dominância, nos quais se observou o gradiente $S3 > S1 > S2$. O ponto S3 apresentou os maiores valores tanto para Dominância_D (0,6085) quanto para Berger- Parker (0,7664), confirmando a forte predominância de poucos táxons na comunidade. Altos níveis de dominância são frequentemente associados a condições ambientais mais restritivas ou seletivas, nas quais apenas determinados organismos conseguem se estabelecer com sucesso, levando à simplificação da estrutura ecológica. A análise da abundância total revelou que o ponto S3 apresentou o maior número de indivíduos ($n = 107$), seguido por S2 ($n = 81$) e S1 ($n = 58$). Esse resultado é particularmente relevante, pois evidencia um padrão clássico em ecologia de comunidades: ambientes com maior abundância nem sempre apresentam maior diversidade. No caso de S3, o elevado número de indivíduos associado à baixa diversidade e alta dominância sugere um ambiente ecologicamente simplificado, possivelmente sob influência de fatores de estresse ou condições ambientais que favorecem o crescimento de poucos táxons oportunistas. Os índices ecológicos indicaram diferenças claras na estrutura das assembleias de macroinvertebrados entre os pontos amostrados. O ponto S2 apresentou maior riqueza (Táxons = 12; Chao-1 = 33) e diversidade (Shannon = 1,499; Simpson = 0,6301), além de menor dominância, indicando uma comunidade mais equilibrada. Em contraste, o ponto S3 apresentou maior abundância de indivíduos ($n = 107$), porém com elevada dominância

(Berger-Parker = 0,7664) e menor diversidade (Shannon = 0,8723), sugerindo uma comunidade simplificada e dominada por poucos táxons. O ponto S1 apresentou valores intermediários para a maioria dos índices. Esses resultados sugerem que o ponto S2 apresenta condições ambientais mais favoráveis à manutenção da diversidade biológica, possivelmente associadas à maior estabilidade hidrológica e influência da zona hiporreica, enquanto S3 pode estar sujeito a condições mais restritivas ou seletivas (Corbi et al., 2006; Abrahão, 2025). As diferenças observadas entre os pontos refletem variações na estrutura ecológica das assembleias de macroinvertebrados, possivelmente associadas a condições ambientais locais. O ponto S2, que apresentou maior diversidade e menor dominância, indica condições mais favoráveis à manutenção da biodiversidade, sugerindo maior estabilidade ecológica (Corbi et al., 2006; Abrahão, 2025). Essa condição pode estar relacionada à maior interação com o lençol freático, promovendo estabilidade térmica e hidrológica, características associadas à influência da zona hiporreica. Ambientes com maior conectividade hiporreica tendem a apresentar maior heterogeneidade de habitats e maior disponibilidade de recursos, favorecendo comunidades mais diversas e equilibradas. Por outro lado, o ponto S3 apresentou elevada abundância associada à alta dominância, padrão típico de ambientes sob maior estresse ou com condições ambientais seletivas, onde poucos táxons conseguem se estabelecer com sucesso. Esse resultado sugere simplificação da estrutura da comunidade, possivelmente associada a limitações ambientais ou maior aporte de matéria orgânica fina (Merrit e Cummins, 1996; Lima, 2008; Merrit et al., 2017).

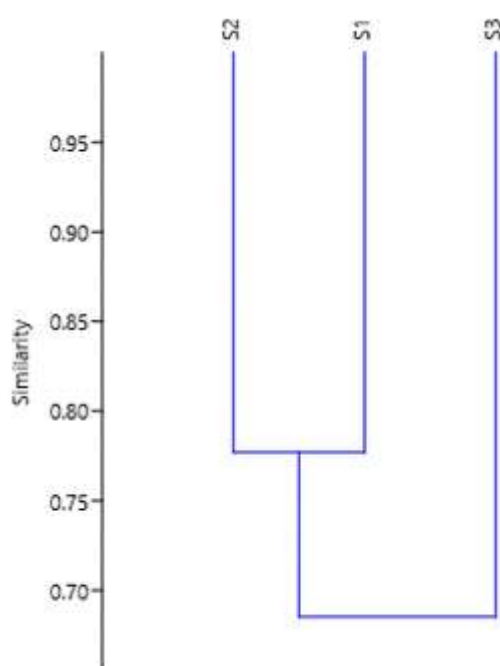


Figura 6 – Gráfico de similaridade Bray-Curtis

Fonte: autores (2026).

CONCLUSÃO

A maior diversidade observada em S2 pode estar associada à estabilidade térmica (Nessimian, 2003; Buss, 2007; MMA, 2007; Oliveira; Baptista, 2008) promovida pela interação com o lençol freático, reforçando o papel da zona hiporreica como elemento estruturador da biodiversidade em sistemas lóticos. Os resultados deste estudo preliminar confirmam que a heterogeneidade ambiental promovida pela conectividade hiporreica é um fator-chave para sustentar a biodiversidade aquática e, por consequência, garantir a integridade ecológica essencial à segurança hídrica local.

Sob essa perspectiva, o monitoramento biológico por meio de macroinvertebrados aquáticos atua como um termômetro natural do ecossistema, registrando de forma contínua as perturbações ambientais ao longo do tempo. Uma vez que distúrbios nos corpos hídricos afetam diretamente a estrutura dessa fauna com efeitos que perduram no tempo (Corbi et al., 2006; Abrahão, 2025), essa ferramenta torna-se indispensável para a avaliação da segurança hídrica e para a conservação ambiental. Nesse contexto, a zona hiporreica desempenha papel fundamental na ciclagem de nutrientes e, por atuar frequentemente como um 'biorreator natural' capaz de purificar a água, a preservação dessa região de interface garante a resiliência ecológica da bacia hidrográfica frente a secas severas e eventos climáticos extremos (Carvalho Filho et al., 2024). Diante disso, recomenda-se a integração do biomonitoramento dessas assembleias biológicas aos planos de gestão, visando aferir a saúde dos mananciais e subsidiar o planejamento de ações mitigadoras eficientes.

Por meio deste estudo preliminar e dos resultados obtidos, um projeto de maior abrangência foi elaborado, no qual as assembleias de macroinvertebrados serão monitoradas ao longo de 12 meses consecutivos, permitindo uma avaliação temporal mais detalhada da dinâmica dessas comunidades. Além das métricas já analisadas, que serão mantidas para fins comparativos, novas abordagens serão incorporadas, incluindo a estimativa de biomassa, a avaliação da produção secundária e a análise dos grupos funcionais de alimentação. A inclusão dessas métricas permitirá uma compreensão mais integrada do funcionamento ecológico do sistema, possibilitando não apenas a caracterização estrutural das assembleias, mas também a inferência de processos ecológicos relacionados ao fluxo de energia e à ciclagem de matéria no ambiente aquático, com ênfase nas zonas hiporreicas.

REFERÊNCIAS

Abrahao, DP. 2025. Avaliação da produção secundária em córregos urbanos pela análise da comunidade de macroinvertebrados aquáticos. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

Agência Nacional de Águas (ANA). 2017. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório anual.

Agência nacional de águas e saneamento básico (ANA). 2020. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. Brasília, DF.

Ambrosio, L. L., Formiga-Johnsson, R. M., Ribeiro, N. B., Puga, B. P., & Nauditt, A. 2024. Capacidade adaptativa às secas visando segurança hídrica: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(06), 4554-4574.

Benke AC. 1984. Secondary production of aquatic insects. In Resh, V. H. & D. M. Rosenberg (eds), *The Ecology of Aquatic Insects*. Praeger Publishers, New York: 289–232.

Buss DF, Oliveira RB, Baptista DF. Monitoramento Biológico de ecossistemas aquáticos continentais. *Oecologia Brasiliensis*. v. 12. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.339-345. 2008.

Carvalho Filho (de), JAA., de Paiva, ALR, do Nascimento, RF, & Cabral, JJDSP. 2024. Efeito da urbanização e do revestimento da zona hiporreica na qualidade da água de riachos urbanos: estudo de caso no município do Recife/PE. *Geoconexões*, 2(19), 455-481.

Chagas, FB, Rutkoski, CF, Bieniek, GB, Vargas, GDLP, Hartmann, PA, & Hartmann, MT. 2017. Utilização da estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade da água em rios no sul do Brasil. *Revista Ambiente & Água*, 12, 416-425.

Corbi, JJ, Strixino, ST, Santos, AD, & Del Grande, M. 2006. Diagnóstico ambiental de metais e organoclorados em córregos adjacentes a áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Estado de São Paulo, Brasil). *Química Nova*, 29, 61-65.

Corbi, JJ & Trivinho-Strixino, S. Relationship between sugar cane cultivation and stream macroinvertebrate communities. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51(4), 569-579. 2008.

Corbi, J. J. (Org.). Indicadores biológicos de qualidade em ambientes aquáticos continentais: métricas e recortes para análises. Ribeirão Preto: Editora RiMa, DOI: 10.46898/rfb.9786558891321. 2021.

Dantas, LRDG. 2022. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados da fauna acompanhante (_Bycatch_) da pesca de arrasto do camarão no litoral de AL: relações com características do habitat e captura das espécies alvo.

de Moura, N. C. M., Silva, P. L. L., de Ferreira, E. A., Fernandes, R., & da Silva, E. F. Avaliação da qualidade ambiental de riachos intermitentes do semiárido utilizando macroinvertebrados aquáticos como bioindicadores. 2026

- Downing, JA. 1984. Assessment of secondary production: the first step. In: Downing, JA, Higler, FH. (eds.). A manual on the assessment of secondary productivity in fresh waters. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Pages 1-18.
- Ferreira, DHL, Mendes, JP, Sugaharaa, CR, & Banchi, BA. 2024. Indicadores de segurança hídrica: análise fatorial aplicada aos municípios das sub-bacias hidrográficas atibaia e piracicaba. Revista Grifos, 34(62), 1-24.
- Gücker, B, Brauns, M, SantoS, AT, DE Carvalho, AP, & Boëchat, I. G. 2024. Contrasting effects of agriculture and urban land use on macroinvertebrate secondary production in Neotropical streams. Ecological Indicators, 162, 112039.
- Hill, H, Hadarits, M, Rieger, R, Strickert, G, Davies, EGR, & Strobbe, KM. 2014. The Invitational Drought Tournament: What is it and why is it a useful tool for drought preparedness and adaptation? Weather Clim. Extrem., 3, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.03.002>
- Kay WR, Smith MJ, Pinder AM, Mcrae JM, Davis JA, Halse SA. 1999. Patterns of distribution of macroinvertebrate families in rivers of north - western Australia. Freshwater Biology 41 (2): 299-316.
- Lemos, MC, Puga, BP, Formiga-Johnsson, RM, & Seigerman, CK. 2020. Building on adaptive capacity to extreme events in Brazil: water reform, participation, and climate information across four river basins. Regional Environmental Change, 20, 1-13.
- Lima, D. V. (2012). Análise da diversidade, abundância e estrutura funcional da comunidade microbiana de três manguezais do Estado de São Paulo, Brasil (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Mello, JL, Abrahão, DP, Saltarelli, WA, Whiles, MR, Dodds, WK, Colón-Gaud, C, ... & Corbi, JJ. 2020. Patterns of macroinvertebrate production and energy flow in headwater streams of the Brazilian Savanna. Freshwater Science, 39(4), 848-859.
- Merritt RW, Cummins KW. Introduction to aquatic insects of North America. Kendall/ Hunt Publishing Company, Dubuque. 758 p. 1996.
- Merritt, RW.; Cummins, KW; Berg, MB. Trophic Relationships of Macroinvertebrates. In: Methods in stream ecology: Volume 1 – Ecosystem Structure. 3a ed. Academic Press/Elsevier. P. 413 – 433. 2017.
- MMA; ANA. 2007. GEO Brasil: recursos hídricos. GEO Brasil Série Temática. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Brasília, 60p.

Mukherjee, S, Mishra, A, & Trenberth, KE. 2018. Climate Change and Drought: A Perspective on Drought Indices. Curr. Clim. Chang. Reports, 4(2), 145–163. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>

OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. Environment at a Glance 2013. OECD Indicators. OECD Publishing, 2013a. Disponível em: https://read.oecd-ilibrary.org/environment/environment-at-a-glance2013_9789264185715-en#page4.

<http://dx.doi.org/10.1787/9789264185715-en>. Acesso em: 06 mai. 2025.

Waters, TF. 1977. Secondary production in inland waters. Advances in Ecological Research 10: 91-64.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Escola de Engenharia de São Carlos - USP pelo suporte institucional e infraestrutura disponibilizada para a realização desta pesquisa. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento concedido, fundamental para o desenvolvimento das atividades científicas. Agradecemos também a todos os pesquisadores, técnicos e colaboradores envolvidos no projeto temático “Desafios da segurança hídrica em um contexto de mudanças ambientais: abordagens interdisciplinares e estudos comparativos entre o Sistema Aquífero Guarani e outras áreas de relevante interesse hidrológico no Brasil”, cujo apoio e integração foram e são essenciais para a execução deste e dos futuros estudos.