UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

Instituto de Biociências
Unesp Botucatu

A Influência Antrópica na Qualidade da Água e nas Comunidades de Macroinvertebrados Bentônicos: Um Panorama dos Últimos Vinte Anos de Estudo

JONATHAN ANTONIO SOLDERA JUNQUEIRA

BOTUCATU

2025

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Câmpus de Botucatu
IB - Instituto de Biociências
Departamento de Biodiversidade e Bioestatística
Setor de Zoologia

JONATHAN ANTONIO SOLDERA JUNQUEIRA

A Influência Antrópica na Qualidade da Água e nas Comunidades de Macroinvertebrados Bentônicos: Um Panorama dos Últimos Vinte Anos de Estudo

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Instituto de Biociências, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profª Dra. Erika Mayumi Shimabukuro
Coorientadora: Profª Dra. Juliana Heloisa Pinê Américo Pinheiro

BOTUCATU
2025

J95i

Junqueira, Jonathan Antonio Soldera
A influência antrópica na qualidade da água e nas comunidades de macroinvertebrados bentônicos: um panorama dos últimos vinte anos de estudo / Jonathan Antonio Soldera Junqueira. -- Botucatu, 2025
31 f. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu
Orientadora: Erika Mayumi Shimabukuro
Coorientadora: Juliana Heloisa Pinê Américo Pinheiro

1. Limnologia. 2. Ecologia de água doce. 3. Macroinvertebrados bentônicos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

JONATHAN ANTONIO SOLDERA JUNQUEIRA

Influência Antrópica na Qualidade da Água e nas Comunidades de Macroinvertebrados Bentônicos: Um Panorama dos Últimos Vinte Anos de Estudo

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Estadual Paulista, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel, do curso de Graduação em Ciências Biológicas.

Botucatu, 8 de dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

gov.br
Documento assinado digitalmente
ERIKA MAYUMI SHIMABUKURO
Data: 08/12/2025 20:15:19-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Dra. Erika Mayumi Shimabukuro

UNESP – Instituto de Biociências – Campus de Botucatu

gov.br
Documento assinado digitalmente
MARCOS GOMES NOGUEIRA
Data: 09/12/2025 08:46:45-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Marcos Gomes Nogueira

UNESP – Instituto de Biociências – Campus de Botucatu

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, com todo o meu coração, aos meus pais Jaime e Denise, que foram minha base, minha força e meu porto seguro. Obrigado por cada palavra de incentivo, por cada gesto de carinho e por nunca deixarem que eu duvidasse do meu próprio caminho.

Aos amigos que fiz durante os anos de graduação, deixo meu profundo agradecimento pelo acolhimento, parceria e apoio constantes. Cada conversa, risada e gesto de amizade tornou essa jornada mais leve e significativa.

À minha gatinha Adriana, companheira fiel das madrugadas de escrita, que com sua presença silenciosa e carinhosa tornou os dias difíceis mais suportáveis e me lembrou que o afeto também constrói conhecimento.

Às minhas orientadoras, Erika e Juliana, agradeço pela paciência, dedicação, escuta atenta e acolhimento. Cada orientação, troca e incentivo foram essenciais para a construção deste trabalho e para meu crescimento.

E, por fim, agradeço, com enorme orgulho e respeito, à universidade pública, espaço que, mesmo atravessado por desafios, continua sendo lar da ciência, do pensamento crítico e da transformação social. Foi nesse lugar, aberto e resistente, que encontrei a possibilidade de mudar realidades, inclusive a minha. Carrego comigo a certeza de que a educação pública transforma vidas, e a minha é prova disso.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 6
2. OBJETIVO..... 10
3. METODOLOGIA..... 11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 14
5. CONCLUSÃO..... 25
6. REFERÊNCIAS..... 26
7. ANEXOS.....

RESUMO

A preservação dos recursos hídricos é essencial para a manutenção da vida e do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Organismos como os macroinvertebrados bentônicos desempenham um papel fundamental nos processos ecológicos, como a ciclagem de nutrientes e a transferência de energia entre níveis tróficos, sendo diretamente influenciados pelas condições ambientais. Atividades antrópicas, como poluição industrial, desmatamento, agricultura intensiva, construção de barragens e aterros, afetam significativamente a integridade desses ambientes, alterando a qualidade da água e a composição das comunidades biológicas. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre os impactos das atividades humanas, na qualidade da água e na estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos. A revisão de literatura abrange aspectos como a influência da cobertura vegetal, especialmente da mata ciliar, sobre as características físico-químicas da água, incluindo parâmetros como oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez, sólidos totais e pH. Além disso, serão abordados os indicadores biológicos comumente utilizados na avaliação da qualidade ambiental, como os índices de diversidade (riqueza de espécies, Shannon-Wiener e equitabilidade) e a porcentagem de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera).A partir da literatura consultada, busca-se compreender as relações entre as pressões antrópicas e a resposta das comunidades aquáticas, contribuindo para a identificação de estratégias de conservação e manejo desses ecossistemas.

1. INTRODUÇÃO

A crescente manipulação dos ecossistemas aquáticos, impulsionada por múltiplos fatores — como expansão urbana, intensificação agrícola, mineração e alteração do regime hidrológico — tem suscitado a necessidade de instrumentos robustos e de custo-efetivos para avaliar a qualidade da água e o estado ecológico de rios e riachos. A abordagem biológica, que integra a resposta de comunidades aquáticas a distúrbios em diferentes escalas espaciais e temporais, consolida-se como um pilar do monitoramento contemporâneo (Bonada et al., 2006). Dentre os diversos grupos de trabalhado, os macroinvertebrados bentônicos ocupam posição de destaque por reunirem um conjunto de atributos desejáveis: ampla distribuição, ciclo de vida relativamente curto, diversidade taxonômica e funcional, diferentes graus de tolerância a perturbações, baixo custo de amostragem e facilidade na obtenção dos organismos (Barbour et al., 1999; Bonada et al., 2006; Buss et al., 2015).

No Brasil, o uso de macroinvertebrados como bioindicadores avançou de forma significativa nas últimas décadas, acompanhando um movimento internacional de padronização metodológica e de declarações de biocritérios (Buss et al., 2015). Ao mesmo tempo, permanece evidente a importância da adaptação regional de índices e métricas originalmente concebidas em ambientes temperados, de modo a refletir especificamente a biota e os gradientes de pressão específicos de ecossistemas tropicais (Baptista et al., 2007; Buss et al., 2015). Essa necessidade de adaptação local, decorre de particularidades biogeográficas, hidrológicas e de uso do solo, assim como de aspectos taxonômicos e funcionais dos macroinvertebrados.

Do ponto de vista regulatório, o Brasil dispõe de normativas para a classificação de corpos d'água e para o controle de lançamentos de efluentes, especialmente a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece diretrizes de enquadramento e padrões de qualidade e uso (CONAMA, 2005). Embora a referida resolução seja predominantemente ancorada em parâmetros físico-químicos e microbiológicos, a incorporação de abordagens biológicas nos programas de monitoramento de águas

continentais, é reconhecida internacionalmente como essencial para comparar a integridade ecológica, indo além de “instantâneos” de qualidade e captando condições integradas no tempo (Barbour et al., 1999; Bonada et al., 2006). Em sinergia com as normas nacionais, as práticas de biomonitoramento com macroinvertebrados oferecem um caminho complementar e, muitas vezes, mais responsivo para diagnosticar e priorizar ações de gestão.

Historicamente, diferentes famílias e ordens de macroinvertebrados estavam associadas a gradientes de qualidade da água. Grupos sensíveis, como Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), tendem a declinar com o aumento da poluição orgânica, da eutrofização e da alteração de habitats, ao passo que grupos tolerantes (e.g. Chironomidae, Oligochaeta) frequentemente prosperam em cenários alterados (Bonada et al., 2006; Tampo et al., 2021). Tais padrões ecológicos sustentam o desenvolvimento de métricas e índices bióticos hoje amplamente utilizados. Entre os sistemas clássicos destacam-se: (i) BMWP e suas adaptações regionais, como o IBMWP ibérico, que somam pontuações de tolerância atribuídas a famílias de macroinvertebrados; (ii) ASPT, métrica derivada do BMWP que normaliza o escore pela riqueza de táxons; (iii) riqueza e proporção EPT; e (iv) o índice biótico de Hilsenhoff (HBI/FBI), baseado em tolerâncias à poluição orgânica, como o esgoto doméstico. Embora originalmente concebidos em contextos europeus e norte-americanos, os estudos demonstraram a utilidade desses índices, uma vez que há adaptação com listas de tolerância locais (Buss et al., 2015).

No âmbito metodológico, a difusão dos Protocolos de Bioavaliação Rápida (Rapid Bioassessment Protocols, RBP), foram padronizados elementos cruciais da amostragem e análise, incluindo seleção de habitats, esforço amostral, triagem e subamostragem, avaliação de habitat e integração multigrupo (macroinvertebrados e peixes), além de diretrizes para análise e integração de dados (Barbour et al., 1999). Essa padronização é fundamental para comparabilidade entre bacias e leitos de água, e tem sido tomada como referência por iniciativas estaduais e federais em diferentes países. No Brasil e na América Latina, a adoção de protocolos

harmonizados tem sido recomendada para viabilizar comparações inter-regionais e a construção de séries temporais robustas (Buss et al., 2015).

Em escala global, Buss et al. (2015) compararam 13 programas de biomonitoramento de macroinvertebrados, evidenciando convergências em tipo de amostrador, malha de coleta, janela temporal e resolução taxonômica, mas também lacunas críticas a endereçar — por exemplo, o balanço entre amostragem de habitat único versus multi hábitat, o esforço de processamento e a intercalibração de métodos. O estudo ressalta que a consistência entre protocolos de campo e laboratório é condição necessária para integrações de dados em larga escala e para análises de tendência, algo particularmente relevante frente a temas transversais como mudanças climáticas e expansão de atividades econômicas em bacias hidrográficas (Buss et al., 2015).

Em regiões tropicais, pesquisas recentes reforçam a responsividade de estatísticas baseadas em macroinvertebrados a gradientes de pressão, identificando conjuntos de táxons sensíveis e tolerantes, e demonstrando a robustez de índices como EPT, BMWP e ASPT quando devidamente ajustados ao contexto regional (Tampo et al., 2021). Esses estudos corroboram com a noção de que a composição e estrutura da comunidade bentônica refletem de modo integrado as condições físico-químicas e estruturais do ecossistema, oferecendo, assim, um diagnóstico ecológico de maior amplitude temporal do que o fornecido por parâmetros instantâneos (Bonada et al., 2006).

No Brasil, marcos importantes incluem a criação de índices multimétricos adaptados a biomas e contextos regionais, como o desenvolvimento de ferramentas específicas para riachos da Mata Atlântica (Baptista et al., 2007), e uma crescente ênfase em suficiência taxonômica, padronização de malha e esforço, e comparabilidade de protocolos (Buss e Vitorino, 2010; Buss e Borges, 2008). Esses esforços caminharam em paralelo à necessidade de fortalecer a infraestrutura taxonômica (especialistas, chaves de identificação atualizadas, coleções de referência) e de integrar fatores biológicas com variações ambientais

(hidromorfologia, qualidade de habitat, nutrientes, sedimentos finos) para aumentar o poder diagnóstico e a inferência causal.

Apesar do avanço, persistem desafios. Entre eles: (i) heterogeneidade de protocolos entre instituições e projetos, dificultando a integração de dados; (ii) lacunas de exclusão de listas de tolerância por bacia/bioma, especialmente na Amazônia, Cerrado e Caatinga; (iii) limitações de identificação taxonômica a níveis específicos (gênero e espécie), o que pode reduzir a sensibilidade em certos gradientes; (iv) necessidade de séries temporais para variação sazonal e interanual; e (v) integração de abordagens tradicionais com ferramentas emergentes (por exemplo, características funcionais, e DNA/metabarcoding), que podem ampliar a qualidade ecológica e a reprodutibilidade (Buss et al., 2015; Bonada et al., 2006). A literatura internacional sinaliza que índices multimétricos e abordagens baseadas em traços tendem a ser mais robustos quando calibrados com dados de referência regionais e associados à avaliação específica de habitat (Barbour et al., 1999; Bonada et al., 2006).

Do ponto de vista de gestão, a adoção sistemática de macroinvertebrados nos programas de monitoramento pode apoiar o enquadramento de corpos d'água (CONAMA 357/2005), o licenciamento ambiental, a avaliação de conformidade de empreendimentos hidrelétricos e de saneamento, e a priorização de ações de restauração de bacias. A literatura aponta que a eficácia de programas de biomonitoramento depende de: (i) objetivos claros (triagem, diagnóstico, tendência); (ii) desenho amostral que cobre gradientes de pressão e referência; (iii) protocolos padronizados e auditáveis; (iv) curadoria taxonômica e controle de qualidade; e (v) mecanismos de interoperabilidade e transparência de dados (Barbour et al., 1999; Buss et al., 2015). Nas regiões onde os programas nacionais ainda estão em consolidação, recomenda-se iniciar por protocolos simples e replicáveis, expandindo paulatinamente a complexidade (por exemplo, integração com perifíton e peixes) de acordo com capacidade institucional e objetivos específicos.

Em resumo, os macroinvertebrados bentônicos configuram um componente central da avaliação biológica da qualidade da água, com base empírica sólida e protocolos estabelecidos. No contexto brasileiro, a consolidação de um arcabouço metodológico alinhado às boas práticas internacionais, porém calibrado às realidades regionais, é condição necessária para que se alcance comparabilidade, robustez diagnóstica e aplicabilidade regulatória. Este trabalho, portanto, visou sistematizar a literatura recente, com foco em índices e métricas amplamente utilizados (por exemplo, BMWP/IBMWP, ASPT, EPT, HBI), discutir avanços e lacunas deste formato de pesquisa no Brasil, de modo a apoiar o uso de macroinvertebrados em programas de biomonitoramento e gestão da qualidade das águas em ecossistemas lóticos.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma revisão integrativa da literatura científica, publicada entre os anos de 2005 e 2025, sobre o uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água em ecossistemas aquáticos brasileiros. Buscou-se identificar as métricas biológicas e índices bióticos empregados, bem como avaliar sua adequação às condições ambientais e regulatórias do país. Além disso, o estudo teve como propósito analisar o potencial desses organismos para o aprimoramento de programas de biomonitoramento e gestão dos recursos hídricos, considerando as diretrizes da Resolução CONAMA nº 357/2005 e as especificidades ecológicas regionais.

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo proposto, este estudo teve como objetivos específicos:

- Mapear e sistematizar a produção científica nacional publicada entre 2005 e 2025 sobre o uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores,

abrangendo diferentes biomas, tipos de corpos d’água e gradientes de impacto ambiental;

- Identificar os índices, métricas e protocolos metodológicos empregados nos estudos — como BMWP/IBMWP, ASPT, EPT, Hilsenhoff (FBI/HBI) e índices multimétricos —, bem como os níveis taxonômicos de identificação e os métodos de amostragem mais utilizados (ex.: avaliação de habitat);

- Analisar os avanços e lacunas no uso de macroinvertebrados bentônicos no Brasil, considerando aspectos técnicos, taxonômicos e institucionais que influenciam a consolidação de protocolos padronizados e comparáveis;

- Propor recomendações práticas para o fortalecimento do biomonitoramento aquático, incluindo a necessidade de capacitação técnica, integração com ferramentas de geoprocessamento e modelagem ecológica, e o desenvolvimento de índices regionais adaptados às condições tropicais e subtropicais.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa configurou-se como uma revisão bibliográfica sistemática e exploratória, com abordagem qualitativa e quantitativa, desenvolvida entre os meses de março e setembro de 2025. Foram identificadas, selecionadas e analisadas publicações científicas que abordam o uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores na avaliação da qualidade da água em ecossistemas aquáticos brasileiros.

3.1 Estratégia de busca e seleção dos estudos

As buscas foram conduzidas nas principais bases de dados científicas disponíveis para o público acadêmico: SciELO (Scientific Electronic Library Online),

Periódicos CAPES, Google Scholar, AmeliCA, ResearchGate e repositórios institucionais de universidades brasileiras (UFU, UFRGS, UFMG e USP). Essa diversidade de fontes visou garantir a representatividade e a abrangência do levantamento, incluindo tanto artigos de ampla circulação quanto estudos publicados em revistas regionais ou repositórios locais.

Foram utilizadas combinações de palavras-chave em português e inglês, com o uso de operadores booleanos, a fim de ampliar o alcance da busca:

> “macroinvertebrados bentônicos” AND “qualidade da água” OR “bioindicadores” OR “biomonitoramento” OR “índices bióticos” OR “EPT taxa” OR “BMWP”.

O período de busca compreendeu publicações entre 2004 e 2025, abrangendo duas décadas de produção científica sobre o tema. Essa faixa temporal permitiu observar a evolução das metodologias, índices e métricas aplicadas ao longo dos anos, especialmente após a consolidação dos protocolos de biomonitoramento no Brasil.

A busca inicial resultou em 86 registros. Após a leitura dos títulos e resumos, 42 artigos foram selecionados para leitura integral. A aplicação dos critérios de inclusão e exclusão resultou em 20 estudos elegíveis, que compõem a amostra final desta revisão.

3.2 Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos na análise os trabalhos que atendiam simultaneamente aos seguintes critérios:

a) Estarem publicados em periódicos científicos revisados por pares ou em repositórios acadêmicos;

b) Apresentarem dados originais sobre comunidades de macroinvertebrados bentônicos em ambientes aquáticos continentais (rios, riachos, nascentes ou reservatórios);

c) Utilizarem métricas biológicas ou índices ecológicos (ex.: EPT, BMWP, Shannon-Wiener, equitabilidade) para avaliar a qualidade da água;

d) Serem realizados em território brasileiro ou apresentarem análise comparativa envolvendo ambientes nacionais.

Foram excluídos os trabalhos que:

a) Correspondem a revisões bibliográficas sem dados empíricos;

b) Configuram relatórios técnicos ou dissertações não publicadas em periódicos

c) Possuem enfoque exclusivamente taxonômico, sem relação direta com biomonitoramento;

d) Apresentaram duplicidade de registro ou estavam indisponíveis em texto completo.

3.3 Organização e análise dos dados

Os artigos selecionados foram sistematizados em planilha eletrônica (Microsoft Excel 365) para extração padronizada das informações. Para cada estudo foram registradas as seguintes categorias:

- Referência e ano;
- Estado ou região:
- Bioma;
- Tipo de corpo d’água;
- Principal impacto;
- Principais resultados.

Com base nessas categorias, foi construída a **Tabela 1** (Anexo1) de síntese contendo os 20 estudos analisados, permitindo integrar, em um mesmo quadro comparativo, pesquisas com enfoques distintos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são sintetizados e apresentados os principais padrões observados nos 20 artigos selecionados, que avaliam comunidades de macroinvertebrados bentônicos em diferentes biomas, tipos de corpos d'água, usos do solo e contextos de impacto antrópico no Brasil, no período de 2004 a 2025.

4.1 Distribuição dos estudos e contextos ambientais

Os artigos abrangem uma ampla variedade de regiões hidrográficas e biomas brasileiros, com predominância de estudos na Mata Atlântica, Cerrado e nas regiões Sul e Sudeste, além de contribuições na Amazônia e no Nordeste semiárido, conforme mostrado pelas **Figura 1** e **Figura 2**.

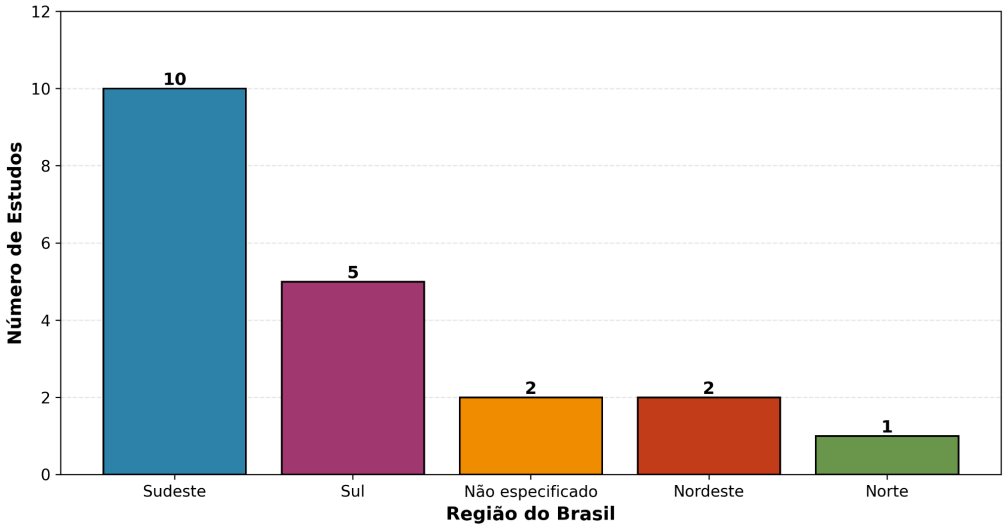


Figura 1 – Distribuição geográfica dos estudos sobre macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores por região, no período de 2004 a 2025. A categoria “Não especificado” abrange trabalhos de revisão.

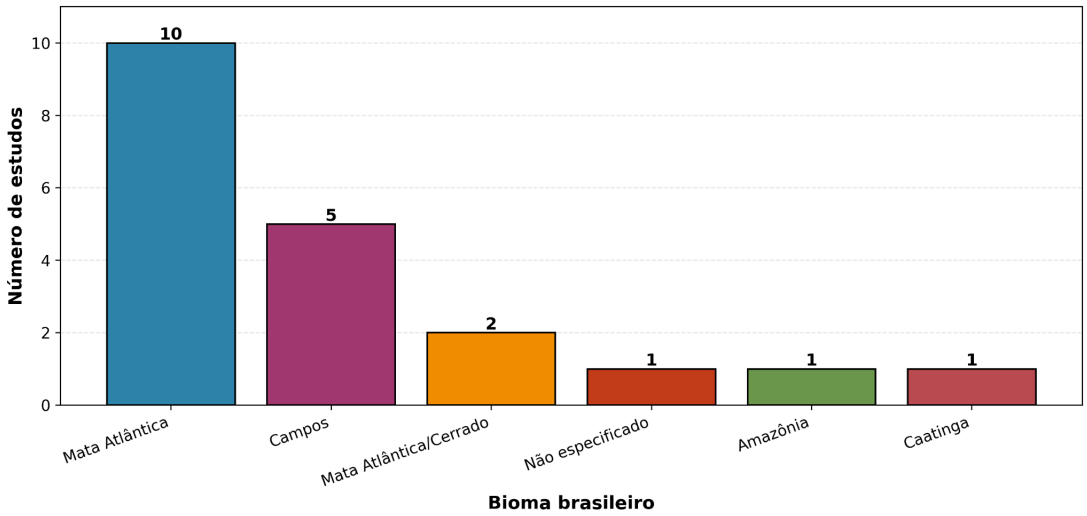


Figura 2– Distribuição dos estudos sobre macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água para cada bioma brasileiro, no período de 2004a 2025. A categoria “Não especificado” abrange trabalhos de revisão.

Em termos de tipos de corpos d'água, a **Figura 3** mostra a distribuição no período de 2004 a 2025.

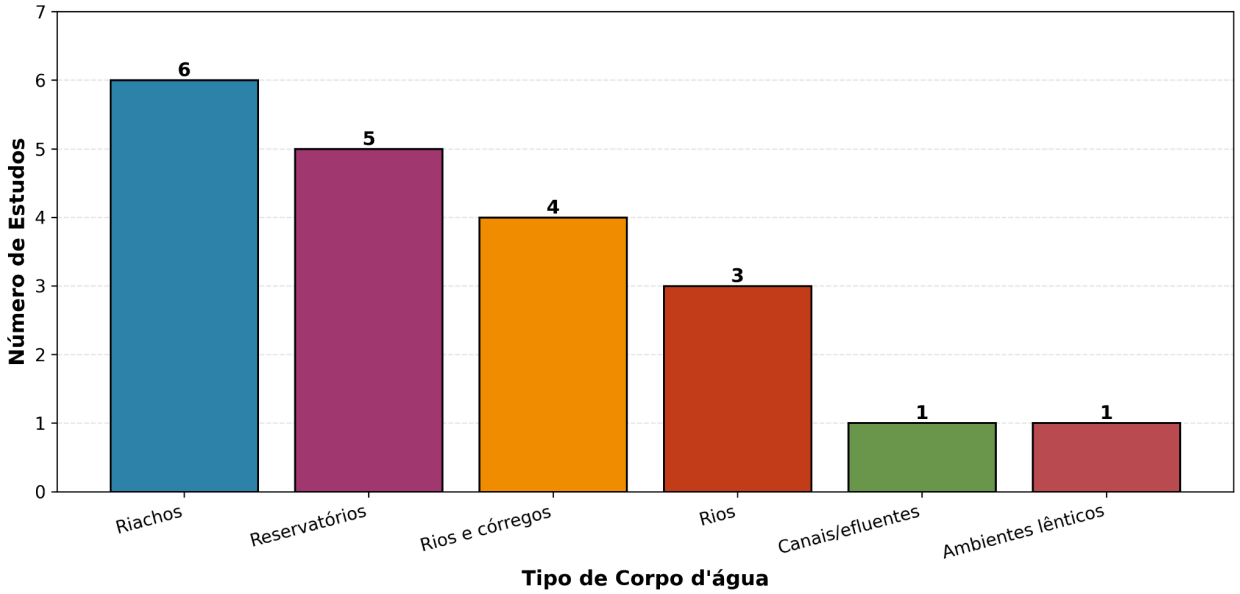


Figura 3 – Tipos de corpos d'água avaliados nos estudos sobre macroinvertebrados bentônicos em ecossistemas aquáticos brasileiros, no período de 2004 a 2025.

Essa distribuição dos estudos, evidenciada pela **Figura 3**, demonstra que a maior parte das pesquisas brasileiras envolvendo macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, concentra-se em riachos, córregos e reservatórios. Essa tendência é coerente com a literatura levantada. Os trabalhos realizados em riachos e córregos de cabeceira, inseridos em paisagens agrícolas, florestais ou de transição (Ribeiro e Uieda, 2005; Tanaka et al., 2015; Pimenta et al., 2016; Silva et al., 2025; Bacca et al., 2023), correspondem ao maior número de publicações, reforçando a relevância desses ambientes para o monitoramento da qualidade da água. Esses sistemas de menor ordem tendem a responder rapidamente às alterações no uso do solo, justificando seu destaque nas pesquisas.

Em seguida, observa-se também uma quantidade significativa de estudos realizados em reservatórios, barragens e lagos urbanos, incluindo ambientes recreativos e sistemas de abastecimento (Piedras et al., 2006; Barbola et al., 2011; Novack et al., 2021; Franco et al., 2025; Gargiulo et al., 2016). A presença dessas categorias no gráfico, ocupando a segunda maior frequência, reflete a crescente atenção dada aos impactos decorrentes da urbanização, da eutrofização e da intensificação do uso dos recursos hídricos em ambientes lênticos.

Os rios de maior ordem, sujeitos a múltiplos impactos ao longo de seu curso (Guimarães et al., 2017; Barbosa et al., 2016; Oliveira e Callisto, 2015), também aparecem representados no gráfico, ainda que em menor proporção. A complexidade desses sistemas, que integram influências acumuladas de toda a bacia, contribui para a diversidade de respostas biológicas observadas, justificando o interesse científico, mas também explicando por que são menos estudados que riachos e reservatórios, que são operacionalmente mais acessíveis.

Ambientes com macrófitas aquáticas e raízes de plantas, que oferecem estrutura de habitat diferenciada (Lopes et al., 2011; Novack et al., 2021), aparecem no gráfico apenas de forma pontual. Apesar disso, esses ambientes possuem importância ecológica significativa, especialmente na manutenção de refúgios e na

modulação da comunidade bentônica, o que sugere um campo ainda pouco explorado e com potencial para expansão.

Além dessas categorias, o gráfico também dialoga com estudos que investigam gradientes longitudinais ou ambientais ao longo de bacias hidrográficas (Callisto et al., 2004; Pereira et al., 2014; Oliveira e Callisto, 2015; Bacca et al., 2023). Embora esses trabalhos não se enquadrem diretamente em um único tipo de corpo d'água, eles contribuem para compreender os padrões espaciais representados na figura, especialmente pela integração entre diferentes trechos de rios e riachos.

Assim, o conjunto de ambientes descritos na literatura corresponde de forma coerente às proporções observadas no gráfico, indicando que os esforços científicos no Brasil, entre 2004 e 2025, têm se concentrado majoritariamente em riachos e reservatórios, mas também abrangem sistemas fluviais de maior ordem, ambientes vegetados por macrófitas e gradientes ambientais, reforçando a diversidade de abordagens aplicadas ao uso de macroinvertebrados como bioindicadores.

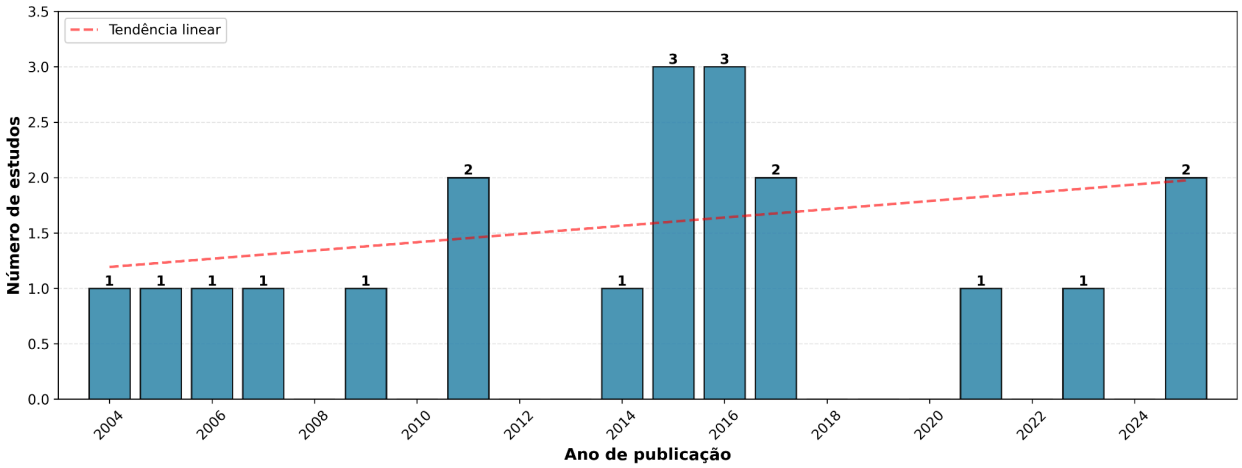


Figura 4 – Evolução temporal do número de estudos sobre macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água em ecossistemas aquáticos brasileiros, no período de 2004 a 2025.

A distribuição temporal dos 20 estudos analisados entre 2004 e 2025 expresso pela **Figura 4**, revela um claro aumento de publicações a partir de 2011, com

concentração máxima no período de 2011 a 2017, que responde por 55% dos trabalhos incluídos. Os anos de 2015 e 2016 destacam-se como picos de produção, com três publicações em cada ano, enquanto a primeira década apresenta número mais discreto de estudos (25% do total), sugerindo que o uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água se consolidou de forma mais intensa apenas a partir da segunda década analisada. Observa-se ainda uma lacuna entre 2018 e 2020, seguida de um retorno mais lento no período recente (2018–2025), com 20% das publicações, incluindo dois trabalhos em 2025. Esse padrão indica que, embora haja um amadurecimento da linha de pesquisa ao longo do tempo, a produção científica não é constante, refletindo possíveis oscilações em financiamento, prioridades de pesquisa e contexto institucional da área de monitoramento da qualidade da água no Brasil.

4.2 Estrutura das comunidades bentônicas e gradientes de qualidade da água

Um padrão comum nos estudos analisados, é a associação forte entre segurança ambiental e estrutura da comunidade bentônica, refletida em estudos de riqueza, diversidade, composição taxonômica e presença de grupos sensíveis ou tolerantes. Em riachos de serra bem conservados, Ribeiro e Uieda (2005) demonstraram que a comunidade de macroinvertebrados em um riacho de serra em Itatinga (SP) apresenta alta riqueza e diversidade, com destaque para táxons sensíveis como Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), em trechos com maior heterogeneidade de substrato e boa cobertura ripária. Resultados compatíveis foram obtidos por Santos e Rodrigues (2015), que, ao avaliar a colonização de detritos foliares em um riacho de primeira ordem em uma área de mata no Nordeste, observaram sucessão de grupos tróficos e presença significativa de táxons sensíveis, fornecendo boa qualidade da água.

Nos gradientes longitudinais, Callisto et al. (2004) avaliaram macroinvertebrados bentônicos, ao longo de um gradiente na Serra do Cipó, demonstrando que a

composição da fauna bentônica, bem como índices de diversidade, variaram sistematicamente da cabeceira para jusante. De forma semelhante, Oliveira e Callisto (2015) verificaram variação longitudinal nas comunidades de macroinvertebrados em uma bacia no sudeste do Brasil, com maior diversidade e riqueza em regiões de cabeceiras e maior dominância de táxons tolerantes em setores médios e inferiores sob maior influência antrópica. Bacca et al. (2023) também evidenciaram diferenças claras entre riachos de campos e florestas de altitude, com comunidades mais integradas em áreas florestadas.

Em rios de maior porte, Guimarães et al. (2017) utilizaram macroinvertebrados como bioindicadores da qualidade da água no rio Paraíba do Sul (Barra Mansa, RJ) e observaram que trechos mais impactados apresentavam comunidades empobrecidas, com predominância de organismos tolerantes, enquanto trechos considerados menos degradados apresentavam maior riqueza taxonômica. Em contexto semelhante, Barbosa et al. (2016) avaliaram um trecho do rio Apodi-Mossoró (RN) e encontraram maior abundância de grupos resistentes à poluição em pontos sob maior influência antrópica, com exceção da qualidade da água.

Assim, os estudos convergem para indicar que ambientes melhores conservados apresentam comunidades bentônicas mais ricas e com maior participação de táxons sensíveis, ao passo que ambientes degradados apresentam simplificação da fauna , redução de diversidade e predomínio de organismos tolerantes (Ribeiro e Uieda, 2005; Callisto et al., 2004; Guimarães et al., 2017; Barbosa et al., 2016)

4.3 Uso do solo, urbanização, efluentes e agrotóxicos

Os efeitos do uso do solo, da urbanização e dos efluentes agrícolas e urbanos/industriais sobre as comunidades bentônicas aparecem com destaque em vários estudos sintetizados.

Em paisagens agrícolas, Silva et al. (2025) avaliaram riachos de cabeceira na bacia do rio Jaguari e observaram que o aumento de áreas agrícolas próximas a bacia de drenagem está associado à diminuição da riqueza de macroinvertebrados e à redução de táxons sensíveis, com incremento relativo a grupos tolerantes. Tanaka et al. (2015) analisaram a redundância entre métricas de qualidade ambiental em riachos de paisagem agrícola e mostraram que diversas reflexões associadas à comunidade bentônica encontraram de forma consistente aos gradientes de uso do solo, ressaltando a influência da intensificação agrícola.

Em córregos de áreas rurais e urbanas, Pimenta et al. (2016) compararam a qualidade da água por meio de bioindicadores bentônicos e verificaram que os córregos urbanos apresentavam menor riqueza e diversidade, além de maior predominância de organismos tolerantes, ocasionado pelo transporte de efluentes domésticos e o aumento da carga orgânica. Chagas et al. (2017), ao avaliarem a estrutura de comunidades de macroinvertebrados nos rios do Sul do Brasil, também identificaram piora na qualidade em trechos influenciados por atividades humanas mais intensas.

Especificamente em ambientes afetados por efluentes agrícolas e urbanos/industriais, Colpo et al. (2009) revelaram que esses efluentes resultam em comunidades bentônicas empobrecidas e com elevada participação de táxons tolerantes, enquanto áreas menos impactadas possuem fauna mais diversa. Nos estudos em reservatórios, Gargiulo et al. (2016) observaram que áreas de pesca no reservatório Billings (SP) apresentaram composição de macroinvertebrados compatíveis com condições de maior pressão antrópica, ao passo que Piedras et al. (2006) demonstraram que diferentes zonas da barragem de Santa Bárbara (RS) apresentam respostas distintas na fauna bentônica frente à qualidade da água.

No contexto específico de agrotóxicos, Arias et al. (2007) revisaram o uso de bioindicadores na avaliação de impacto e monitoramento de contaminação de rios e córregos por pesticidas, enfatizando a utilidade dos macroinvertebrados em detectar exposições tanto agudas quanto crônicas. Os resultados de Silva et al. (2025),

Tanaka et al. (2015) e Colpo et al. (2009) são consistentes com essa perspectiva, ao mostrarem que riachos drenando áreas agrícolas ou orizícolas apresentam comunidades mais tolerantes e piores índices bióticos.

De maneira geral, o conjunto de estudos indica que o uso intensivo do solo, a urbanização e o lançamento de efluentes são fatores determinantes na qualidade da água e na diminuição das comunidades bentônicas (Arias et al., 2007; Tanaka et al., 2015; Pimenta et al., 2016; Silva et al., 2025; Colpo et al., 2009)

4.4 Influência do habitat e da heterogeneidade estrutural

A importância da heterogeneidade de habitat – tanto em ambientes lóticos quanto lênticos – é destacada por diversos trabalhos. Em sistemas associados a macrófitas, Lopes et al. (2011) revelou que a comunidade de macroinvertebrados aquáticos associados às raízes de *Eichhornia crassipes* na região do lago Catalão (AM) varia em função do tipo de habitat e das características estruturais, pois as macrófitas fornecem micro-habitats complexos e desenvolvidos a uma alta riqueza. De forma semelhante, Novack et al. (2021) analisaram invertebrados bentônicos associados a macrófitas em um reservatório, mostrando que a presença dessas plantas aumenta a complexidade do ambiente e promove maior abundância e diversidade de macroinvertebrados em comparação com áreas sem macrófitas.

Em riachos florestados, Santos e Rodrigues (2015) evidenciaram que a colonização de detritos foliares em um riacho de primeira ordem, está associada a uma sucessão de grupos tróficos e à presença de diversos táxons sensíveis, dependentes da entrada de matéria orgânica alóctone e da integridade da matéria orgânica ripária. Ribeiro e Uieda (2005) também ressaltam que a heterogeneidade do substrato (cascalho, pedras, troncos, raízes) e a preservação da mata ciliar em riacho de serra são determinantes para a manutenção de comunidades bentônicas diversas.

Em reservatórios e barragens, Barbola et al. (2011) utilizaram a comunidade de macroinvertebrados aquáticos como ferramenta de monitoramento em um reservatório na bacia do Rio Pitangui (PR) e observaram que a variação espacial na estrutura da comunidade está relacionada às diferenças de profundidade, substrato e uso do entorno. Franco et al. (2025), ao avaliar um reservatório urbano raso em parque de uso recreativo, também destacaram que a baixa diversidade estrutural do ambiente contribuiu para uma comunidade de macroinvertebrados pouco diversa, apesar de a água apresentar boas condições para uso recreativo.

Em resumo, conforme mostrado na **Tabela 1** (Anexo 1), a complexidade física e biológica do hábitat (macrófitas, detritos foliares, raízes, granulometria do substrato, crescimento ripário) está diretamente associada à riqueza e à estrutura da comunidade de macroinvertebrados (Ribeiro e Uieda, 2005; Lopes et al., 2011; Santos e Rodrigues, 2015; Barbola et al., 2011; Novack et al., 2021; Franco et al., 2025).

4.5 Índices bióticos, abordagens multimétricas e múltiplos indicadores

Vários estudos da **Tabela 1** (Anexo1) empregam abordagens quantitativas e multimétricas para traduzir a resposta da comunidade bentônica em indicadores de qualidade da água, frequentemente em conjunto com outros grupos biológicos ou físicos-químicos.

Callisto et al. (2004) foram pioneiros ao integrar macroinvertebrados, leveduras e indicadores microbiológicos ao longo de um gradiente na Serra do Cipó, propondo uma abordagem de múltiplos indicadores para classificação da qualidade da água. Pereira et al. (2014) também utilizaram múltiplos indicadores, inclusive macroinvertebrados, para avaliar a qualidade ecológica no complexo hidrográfico Guapiaçu-Macacu (RJ), demonstrando que diferentes grupos bióticos e métricas se complementam na caracterização da qualidade ambiental.

No contexto de índices bióticos e multimétricos baseados em macroinvertebrados, Tanaka et al. (2015) demonstraram que análises relacionadas à

riqueza de táxons, abundância de grupos sensíveis e composição funcional são, em grande parte, redundantes, mas ainda assim consistentes, na avaliação da qualidade ambiental em riachos agrícolas. Chagas et al. (2017) utilizaram uma estrutura de comunidades bentônicas como indicador de qualidade da água nos rios do Sul do Brasil, reforçando o potencial de índices regionais calibrados.

Arias et al. (2007), em revisão sobre agrotóxicos, enfatizaram a necessidade de integrar bioindicadores, índices bióticos e dados físico-químicos para um monitoramento eficiente, no caso de contaminação. Essa abordagem é claramente adotada em trabalhos como Pereira et al. (2014), Gargiulo et al. (2016) e Franco et al. (2025), que utilizam macroinvertebrados associados a parâmetros limnológicos e, em alguns casos, a outros indicadores biológicos, em uma abordagem mais abrangente.

Portanto, conforme mostrado na **Tabela 1**(Anexo 1), há uma tendência crescente ao uso de índices bióticos, índices multimétricos e indicadores múltiplos na avaliação da qualidade ecológica de rios, riachos e reservatórios, o que reforça a importância de padronização metodológica e de exclusão regional (Callisto et al., 2004; Arias et al., 2007; Pereira et al., 2014; Tanaka et al., 2015; Chagas et al., 2017; Franco et al., 2025).

4.6 Síntese das evidências e implicações para o biomonitoramento

A análise integrada dos 20 estudos avaliados permite identificar padrões consistentes sobre o papel dos macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores em diferentes tipos de corpos d’água. De modo geral, esses organismos demonstram elevada sensibilidade e previsibilidade frente a gradientes de qualidade ambiental, seja em pequenas bacias de cabeceira, seja em rios de maior porte ou em grandes reservatórios (Callisto et al., 2004; Ribeiro e Uieda, 2005; Gimarães et al., 2017; Barbosa et al., 2016; Oliveira e Callisto, 2015; Bacca et al., 2023). Essa tendência se alinha à distribuição observada no conjunto de estudos analisados, em que riachos, córregos e reservatórios aparecem como os ambientes mais investigados, justamente por apresentarem forte resposta a perturbações antrópicas.

Também se evidencia que o uso e ocupação do solo — especialmente agricultura, expansão urbana, lançamento de efluentes e exposição a agrotóxicos — atuam como vetores centrais de degradação ambiental, facilmente detectáveis pela alteração da estrutura das comunidades bentônicas. Esses impactos resultam em uma redução marcante de táxons sensíveis e no aumento proporcional de grupos mais tolerantes (Arias et al., 2007; Tanaka et al., 2015; Pimenta et al., 2016; Silva et al., 2025; Colpo e al., 2009). Esse padrão ecológico, recorrente nas pesquisas avaliadas, reforça o potencial diagnóstico dessa fauna em contextos distintos, desde ambientes de cabeceira até sistemas aquáticos mais complexos.

Outro aspecto amplamente destacado é o papel da heterogeneidade e integridade do habitat — incluindo vegetação ripária, aporte de detritos foliares, presença de macrófitas aquáticas e diversidade de substratos — como determinantes para a manutenção da biodiversidade bentônica (Ribeiro e Uieda, 2005; Lopes et al., 2011; Santos e Rodrigues, 2015; Novack et al., 2021; Barbola et al., 2011; Franco et al., 2025). A influência desses elementos reforça a necessidade de que protocolos de monitoramento considerem não apenas parâmetros físico-químicos, mas também atributos estruturais do habitat, dada sua relação direta com a composição e funcionalidade da comunidade.

Além disso, os estudos confirmam que índices bióticos e abordagens multimétricas fundamentadas em macroinvertebrados — frequentemente combinadas com outros indicadores biológicos e com análises físico-químicas — ampliam de forma significativa a capacidade diagnóstica de programas de biomonitoramento (Callisto et al., 2004; Arias et al., 2007; Pereira et al., 2014; Tanaka et al., 2015; Chagas et al., 2017; Franco et al., 2025). Tais metodologias permitem detectar gradientes sutis de impacto e oferecem maior robustez interpretativa, favorecendo a gestão ambiental em escala de bacias hidrográficas.

Em conjunto, estes resultados reforçam de maneira conclusiva a importância da incorporação sistemática dos macroinvertebrados bentônicos em programas rotineiros de monitoramento da qualidade da água, em consonância com a

legislação vigente e com as recomendações consolidadas da literatura científica. Eles também evidenciam a necessidade de avançar no desenvolvimento e na aplicação de índices regionais, bem como de ampliar os estudos em biomas e tipos de corpos d'água ainda pouco representados, garantindo maior abrangência geográfica e ecológica às avaliações ambientais futuras.

5. CONCLUSÃO

A presente análise bibliográfica permitiu compreender a evolução e a consolidação do uso de macroinvertebrados bentônicos como ferramentas essenciais no biomonitoramento da qualidade da água em ecossistemas aquáticos brasileiros. Os estudos revisados, desenvolvidos entre 2004 e 2025, evidenciam que esses organismos oferecem respostas sensíveis e consistentes às alterações ambientais provocadas por pressões antrópicas, como urbanização, agricultura intensiva e supressão da vegetação ripária.

Verificou-se que ambientes conservados, com maior integridade da mata ciliar e menor aporte de poluentes, apresentam elevada diversidade e predominância de grupos sensíveis, notadamente os pertencentes ao conjunto EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* e *Trichoptera*). Em contraste, sistemas impactados exibem dominância de táxons tolerantes, como *Chironomidae* e *Oligochaeta*, revelando a forte correlação entre integridade ambiental e estrutura das comunidades bentônicas.

O avanço metodológico observado nas últimas décadas demonstra um amadurecimento científico na aplicação de métricas biológicas e índices multimétricos, adaptados às condições regionais brasileiras. Essa evolução inclui a incorporação de abordagens funcionais e filogenéticas, análises multivariadas e integração com parâmetros físico-químicos e hidromorfológicos, ampliando a capacidade de diagnóstico e interpretação ecológica.

Além de consolidar o papel dos macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores confiáveis, os resultados apontam para o potencial de expansão de

seu uso em programas de monitoramento e gestão de recursos hídricos. O desenvolvimento de índices regionais, como o BMWP-BR, a capacitação técnica de profissionais e o uso de tecnologias emergentes — como geoprocessamento e modelagem ecológica — representam caminhos promissores para aprimorar a precisão e a aplicabilidade dos biomonitores em escala nacional.

Conclui-se, portanto, que os macroinvertebrados bentônicos são ferramentas científicas de grande valor para a conservação e o manejo sustentável dos recursos hídricos. Sua utilização contínua e ampliada contribui não apenas para o diagnóstico da qualidade ambiental, mas também para a formulação de políticas públicas fundamentadas em evidências ecológicas. O fortalecimento de redes colaborativas de pesquisa, a padronização de metodologias e a construção de bancos de dados regionais são medidas fundamentais para consolidar o uso desses organismos como base sólida para o biomonitoramento aquático no Brasil.

6. REFERÊNCIAS

BACCA, C.; CARARO, R.; MAGRO, D.; REZENDE, S. de. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores da qualidade da água em riachos de campos e florestas de altitudes. *Revista Espinhaço*, [S. l.], v. 11, n. 1, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.7647310. Disponível em: https://revistas.ufvjm.edu.br/revista-espinhaco/article/view/216. Acesso em: 21 nov. 2025.

BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. 2. ed. Washington, DC: US EPA, 1999. (Report number EPA 841-B-99-002). 339 p.

BARBOLA, I. 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*, Porto Alegre, v. 101, n. 1-2, p. 15–23, jun. 2011.

BARBOSA, A. H. da S.; SILVA, C. S. P.; ARAÚJO, S. E. de; LIMA, T. B. B. de; DANTAS, I. M. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água em um trecho do rio Apodi-Mossoró. *HOLOS*, Natal, v. 32, n. 7, p. 121–132, 2016. DOI: 10.15628/holos.2016.4183. Disponível em: https://doi.org/10.15628/holos.2016.4183.

BAPTISTA, D. F.; BUSS, D. F.; EGLER, M.; GIOVANELLI, U. M.; SILVEIRA, M. P.; NESSIMIANO, J. L. Um índice multimétrico baseado em macroinvertebrados bentônicos para avaliação de córregos de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro. *Hydrobiologia*, [S. l.], v. 575, p. 83–94, 2007.

BONADA, N.; PRAT, N.; RESH, V. H.; STATZNER, B. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, v. 51, p. 495–523, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7652/7652_7.PDF. Acesso em: 17 out. 2023.

BUSS, D. F. et al. Biomonitoramento de riachos usando macroinvertebrados ao redor do mundo: uma comparação de programas em larga escala. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 187, 4132, 2015. DOI: 10.1007/s10661-014-4132-8.

CALLISTO, M. et al. Diversity assessment of benthic macroinvertebrates, yeasts, and microbiological indicators along a longitudinal gradient in Serra do Cipó, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, v. 64, n. 4, p. 743–755, nov. 2004.

CHAGAS, F. B. et al. Utilização da estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade da água em rios no sul do Brasil. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 12, n. 3, p. 416–425, maio 2017.

COLPO, K. D.; BRASIL, M. T.; CAMARGO, B. V. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores do impacto ambiental promovido pelos efluentes de áreas orizícolas e pelos de origem urbana/industrial. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2087–2092, out. 2009.

FRANCO, P. C. et al. Qualidade da água e resposta da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um reservatório urbano raso: implicações para a gestão ecológica de um parque de uso contemplativo. *Revista de Geopolítica*, [S. l.], v. 16, n. 5, p. e761, 2025. DOI: 10.56238/revgeov16n5-012. Disponível em: https://revistageo.com.br/revista/article/view/761. Acesso em: 21 nov. 2025.

GARGIULO, J. R. B. C. et al. Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in Billings Reservoir fishing sites (SP, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, Botucatu, v. 28, e12, 2016.

GUIMARÃES, R. R.; CARVALHO SILVA, L. F. de; GUIMARÃES, R. R. Macroinvertebrados como bioindicadores da qualidade da água do rio Paraíba do Sul, Barra Mansa, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Dissertar*, [S. l.], v. 1, n. 26–27, p. 50–57, 2017. DOI: 10.24119/16760867ed11323. Disponível em: https://revistadissertar.adesa.com.br/index.php/revistadissertar/article/view/23. Acesso em: 21 nov. 2025.

LOPES, A. et al. Influência do hábitat na estrutura da comunidade de macroinvertebrados aquáticos associados às raízes de *Eichhornia crassipes* na região do Lago Catalão, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 41, n. 4, p. 493–502, 2011.

NOVACK, M. et al. Invertebrados bentônicos associados a macrófitas aquáticas em um reservatório subtropical brasileiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 741–748, ago. 2021.

OLIVEIRA, L. B.; CALLISTO, M. Variação longitudinal das assembleias de macroinvertebrados em uma bacia hidrográfica tropical, sudeste do Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 145–156, 2015. DOI: 10.1590/S2179-975X2015002700013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/alb/a/3Qb3kZfQvZfP3mYk3Qb3kZf/?lang=pt. Acesso em: 22 out. 2025.

PEREIRA, P. S. et al. Ecological water quality assessment in the Guapiaçu-Macacu hydrographic complex (Rio de Janeiro, Brazil) using multiple indicators. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 409–423, jul. 2014.

PIEDRAS, S. R. N. et al. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água na Barragem Santa Bárbara, Pelotas, RS, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 494–500, mar. 2006.

PIMENTA, S. M. et al. Estudo da qualidade da água por meio de bioindicadores bentônicos em córregos da área rural e urbana. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 11, n. 1, p. 198–210, jan. 2016.

RIBEIRO, L. O.; UIEDA, V. S. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, Curitiba, v. 22, n. 3, p. 613–618, jul. 2005.

SANTOS, I. G. A. dos; RODRIGUES, G. G. Colonização de macroinvertebrados bentônicos em detritos foliares em um riacho de primeira ordem na Floresta Atlântica do nordeste brasileiro. *Iheringia. Série Zoologia*, Porto Alegre, v. 105, n. 1, p. 84–93, jan. 2015.

SILVA, M. S. G. M. E. et al. Influence of land use on benthic macroinvertebrate assemblages in headwater streams of the Jaguari River Basin, Brazil. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 20, p. e3044, 2025.

TAMPO, L. et al. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores ecológicos: sua sensibilidade à qualidade da água e às perturbações humanas em um rio

tropical. *Frontiers in Water*, Lausanne, v. 3, 662765, 2021. DOI:10.3389/frwa.2021.662765.

TANAKA, M. O. et al. Redundância entre métricas da qualidade ambiental de riachos em paisagem agrícola. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 832–846, out. 2015.

7. ANEXO

Tabela 1. Síntese dos estudos sobre macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água em ecossistemas aquáticos brasileiros, com informações sobre referência e ano, estado e região, bioma, tipo de corpo d'água, principal impacto e principais resultados.

	Referência e ano	Estado / Região	Bioma	Tipo de corpo d'água	Principal impacto	Principais resultados (síntese)
1	Callisto et al. (2004)	Serra do Cipó, MG – Sudeste	Mata Atlântica	Riachos	Gradiente longitudinal; macroinvertebrados, leveduras e microbiologia	Variação sistemática da diversidade e composição ao longo do gradiente; cabeceiras mais diversas e sensíveis; jusante mais impactadas.

2	Ribeiro e Uieda (2005)	Itatinga, SP – Sudeste	Mata Atlântica	Riacho	Estrutura de comunidade bentônica em riacho preservado	Alta riqueza/diversidade ligada a substrato heterogêneo e mata ciliar preservada; destaque para EPT em boa qualidade.
3	Piedras et al. (2006)	Pelotas, RS – Sul	Campos / Mata Atlântica	Barragem	Macroinvertebrados como indicadores em barragem	Diferenças espaciais na fauna refletem gradientes de qualidade; aumento de táxons tolerantes em áreas mais impactadas.
4	Arias et al. (2007)	Artigo de revisão	—	Rios e córregos	Bioindicadores de agrotóxicos	Síntese do uso de bioindicadores (incluindo macroinvertebrados) em monitoramento de

						contaminação por agrotóxicos; necessidade de abordagem integrada.
5	Colpo et al. (2009)	RS – Sul	Campos	Ambientes contaminados por efluentes	Efluentes de áreas agrícolas e urbanos/industriais	Comunidades empobrecidas e dominadas por tolerantes em áreas com efluentes; contraste com áreas de referência menos impactadas.
6	Barbola et al. (2011)	PR – Sul	Mata Atlântica	Reservatório	Macroinvertebrados como ferramenta de monitoramento em reservatório	Estrutura da comunidade varia com profundidade, substrato e uso do entorno; macroinvertebrados discriminam zonas mais impactadas.

7	Lopes et al. (2011)	AM – Norte	Amazônia	Hábitat associado a raízes de *Eichhornia crassipes*	Influência do hábitat (macrófitas) na comunidade	Raízes de macrófitas aumentam complexidade de hábitat; alta riqueza e abundância; composição varia conforme tipo de hábitat.
8	Pereira et al. (2014)	RJ – Sudeste	Mata Atlântica	Rios e riachos	Avaliação ecológica com múltiplos indicadores	Macroinvertebrados e outros indicadores discriminam trechos com diferentes níveis de preservação; abordagem multimétrica robusta.
9	Santos e Rodrigues (2015)	Nordeste	Mata Atlântica	Riacho	Colonização de detritos foliares por macroinvertebrados	Sucessão temporal de grupos tróficos; presença de táxons sensíveis; importância da entrada de

						matéria orgânica e integridade ripária.
10	Tanaka et al. (2015)	Paisagem agrícola – Sudeste	Mata Atlântica / Cerrado	Riachos em área agrícola	Redundância entre métricas de qualidade ambiental	Métricas baseadas em macroinvertebrados respondem a gradientes de uso agrícola; algumas são redundantes, mas consistentes.
11	Oliveira e Callisto (2015)	Bacia tropical – Sudeste	Mata Atlântica	Riachos/ rios em gradiente longitudinal	Variação longitudinal de assembleias de macroinvertebrados	Maior riqueza e diversidade em cabeceiras preservadas; queda gradual em direção a trechos mais impactados ao longo da bacia.
12	Pimenta et al. (2016)	Sudeste – rural vs. urbano	Mata Atlântica	Córregos rural e urbano	Qualidade da água comparada por	Córregos urbanos com menor riqueza/diversid

					bioindicadores bentônicos	ade e maior proporção de tolerantes em relação aos rurais; efeito da urbanização.
13	Gargiulo et al. (2016)	Reservatório Billings, SP – Sudeste	Ambiente lêntico urbano	Reservatório (áreas de pesca)	Macroinvertebrados como bioindicadores em áreas de pesca	Comunidades mais empobrecidas e com mais tolerantes em locais de maior pressão antrópica; utilidade para gestão de áreas de pesca.
14	Barbosa et al. (2016)	Rio Apodi–Mossoró, RN – Nordeste	Caatinga	Trecho de rio	Macroinvertebrados como bioindicadores em rio semiárido	Predominância de táxons tolerantes em pontos mais alterados; indicação de poluição/contaminação; macroinvertebrados eficazes no

						diagnóstico local.
15	Chagas et al. (2017)	Sul do Brasil	Campos / Mata Atlântica	Rios	Comunidades bentônicas como indicador de qualidade em rios do Sul	Piores condições biológicas associadas a maior impacto antrópico; confirmação do potencial indicador em rios subtropicais.
16	Guimarães et al. (2017)	Barra Mansa, RJ – Sudeste	Mata Atlântica / área urbana-industrial	Rio Paraíba do Sul (trecho de maior porte)	Macroinvertebrados como bioindicadores em rio de grande porte	Trechos impactados com comunidades empobrecidas e dominadas por tolerantes; macroinvertebrados refletem bem gradiente de degradação.
17	Novaack et al. (2021)	Reservatório – Sul	Campos	Reservatório com macrófitas	Invertebrados bentônicos associados a	Macrófitas aumentam diversidade e abundância;

					macrófitas aquáticas	composição varia com estrutura do hábitat; reforça papel estruturador das macrófitas.
18	Bacca et al. (2023)	Campos – Sul	Campos de altitude e florestas	Riachos	Macroinvertebrados como indicadores em riachos de campos vs. florestas	Riachos em florestas com comunidades mais diversas e sensíveis que riachos em campos; clara resposta à cobertura vegetal.
19	Franco et al. (2025)	MG – Sudeste	Ambiente urbano	Reservatório urbano raso em parque contemplativo	Qualidade da água e resposta da comunidade bentônica em reservatório urbano	Água adequada para uso contemplativo, mas comunidade bentônica extremamente pobre; baixa diversidade estrutural e

						possível efeito da ictiofauna.
20	Silva et al. (2025)	Bacia do rio Jaguari, SP – Sudeste	Mata Atlântica / paisagem agrícola	Riachos de cabeceira	Influência do uso do solo em assembleias de macroinvertebrados	Riachos com maior proporção de uso agrícola apresentam menor riqueza/diversidade e redução de táxons sensíveis; impacto direto do uso do solo.