

## **Influência antrópica na qualidade da água e nas comunidades de macroinvertebrados bentônicos em ecossistemas aquáticos brasileiros**

**Jonathan Antonio Soldera Junqueira**

Mestrando em Engenharia Civil  
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, Brasil  
j.junqueira@unesp.br  
ORCID iD 0009-0007-0089-55957

**Érica Lemos Gulinelli**

Professora Doutora  
Centro Universitário de Várzea Grande (UNIVAG), Várzea Grande, Brasil  
Pós-Doutoranda  
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, Brasil  
erica.gulinelli@univag.edu.br  
ORCID iD 0000-0002-6003-3504

**Erika Mayumi Shimabukuro**

Professora Assistente Doutora  
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu, Brasil  
erika.shimabukuro@unesp.br  
ORCID iD 0000-0001-8377-1844

**Juliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro**

Professora Assistente Doutora  
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, Brasil  
juliana.heloisa@unesp.br  
ORCID iD 0000-0001-6252-828X

## **Influência antrópica na qualidade da água e nas comunidades de macroinvertebrados bentônicos em ecossistemas aquáticos brasileiros**

### **RESUMO**

**Objetivo** - O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura científica publicada entre 2004 e 2025 sobre o impacto das atividades antrópicas na qualidade da água e na estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos em ecossistemas aquáticos brasileiros.

**Metodologia** - A pesquisa configurou-se como uma revisão bibliográfica sistemática e exploratória, com buscas realizadas nas bases SciELO, Periódicos CAPES, Google Scholar e repositórios institucionais, utilizando palavras-chave como "macroinvertebrados bentônicos", "qualidade da água" e "bioindicadores". Após aplicação de critérios de inclusão e exclusão, 20 artigos foram selecionados e sistematizados para análise qualitativa e quantitativa.

**Originalidade/relevância** - Embora o uso de macroinvertebrados como bioindicadores seja consolidado globalmente, observa-se uma lacuna na sistematização do conhecimento produzido no Brasil nas últimas duas décadas, a qual este estudo busca preencher ao oferecer um panorama crítico da evolução, aplicações e desafios persistentes no uso desses organismos.

**Resultados** - Os resultados revelaram que 55% dos estudos concentraram-se no período de 2011-2017, com predomínio nos biomas Mata Atlântica e Cerrado e em ecossistemas de riachos. Ambientes preservados apresentaram alta riqueza e dominância de táxons sensíveis (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), enquanto áreas impactadas por urbanização, agricultura e efluentes exibiram comunidades empobrecidas com dominância de grupos tolerantes (Chironomidae e Oligochaeta). A heterogeneidade do habitat, representada por mata ciliar e macrófitas, mostrou-se fator estruturante chave para a biodiversidade bentônica.

**Contribuições teóricas/metodológicas** - O estudo evidencia o amadurecimento científico da área no Brasil, com adoção crescente de índices multimétricos adaptados regionalmente, e reforça a necessidade de padronização de protocolos e investimento em capacitação taxonômica.

**Contribuições sociais e ambientais** - Os achados corroboram o uso de macroinvertebrados como ferramenta acessível e eficaz para o diagnóstico ambiental, fundamental para a conservação da biodiversidade aquática e gestão sustentável dos recursos hídricos, orientando ações de restauração ecológica e saneamento que contribuem para a segurança hídrica e o bem-estar das populações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioindicadores. Ecologia de água doce. Impacto antrópico.

## **Anthropogenic influence on water quality and benthic macroinvertebrate communities in Brazilian aquatic ecosystems**

### **ABSTRACT**

**Objective** – This study aimed to conduct an integrative review of the scientific literature published between 2004 and 2025 on the impact of anthropogenic activities on water quality and the structure of benthic macroinvertebrate communities in Brazilian aquatic ecosystems.

**Methodology** – The research consisted of a systematic and exploratory bibliographic review, with searches performed in SciELO, Periódicos CAPES, Google Scholar, and institutional repositories using keywords such as "benthic macroinvertebrates," "water quality," and "bioindicators." After applying inclusion and exclusion criteria, 20 articles were selected and systematized for qualitative and quantitative analysis.

**Originality/Relevance** – Although the use of macroinvertebrates as bioindicators is globally consolidated, there is a gap in the systematization of knowledge produced in Brazil over the last two decades, which this study seeks to fill by offering a critical overview of the evolution, applications, and persistent challenges in the use of these organisms.

**Results** – The results revealed that 55% of the studies were concentrated in the 2011-2017 period, predominantly in the Atlantic Forest and Cerrado biomes and in stream ecosystems. Preserved environments exhibited high richness and dominance of sensitive taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera), while areas impacted by urbanization, agriculture, and effluents displayed impoverished communities dominated by tolerant groups (Chironomidae and Oligochaeta). Habitat heterogeneity, represented by riparian vegetation and macrophytes, proved to be a key structuring factor for benthic biodiversity.

**Theoretical/Methodological Contributions** – The study highlights the scientific maturation of the field in Brazil, with the increasing adoption of regionally adapted multimetric indices, and reinforces the need for standardization of protocols and investment in taxonomic training.

**Social and Environmental Contributions** – The findings corroborate the use of macroinvertebrates as an accessible and effective tool for environmental diagnosis, essential for the conservation of aquatic biodiversity and sustainable management of water resources, guiding ecological restoration and sanitation actions that contribute to water security and population well-being.

**KEYWORDS:** Bioindicators. Freshwater ecology. Anthropogenic impact.

## **Influencia antropogénica en la calidad del agua y las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas acuáticos brasileños**

### **RESUMEN**

**Objetivo** – El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión integrativa de la literatura científica publicada entre 2004 y 2025 sobre el impacto de las actividades antrópicas en la calidad del agua y en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en ecosistemas acuáticos brasileños.

**Metodología** – La investigación se configuró como una revisión bibliográfica sistemática y exploratoria, con búsquedas realizadas en las bases SciELO, Periódicos CAPES, Google Scholar y repositorios institucionales, utilizando palabras clave como "macroinvertebrados bentónicos", "calidad del agua" y "bioindicadores". Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron y sistematizaron 20 artículos para análisis cualitativo y cuantitativo.

**Originalidad/Relevancia** – Si bien el uso de macroinvertebrados como bioindicadores está consolidado a nivel mundial, existe un vacío en la sistematización del conocimiento producido en Brasil durante las últimas dos décadas, el cual este estudio busca llenar al ofrecer un panorama crítico de la evolución, aplicaciones y desafíos persistentes en el uso de estos organismos.

**Resultados** – Los resultados revelaron que el 55% de los estudios se concentró en el período 2011-2017, con predominio en los biomas Mata Atlántica y Cerrado y en ecosistemas de arroyos. Los ambientes preservados presentaron alta riqueza y dominancia de taxones sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), mientras que las áreas impactadas por urbanización, agricultura y efluentes mostraron comunidades empobrecidas con dominancia de grupos tolerantes (Chironomidae y Oligochaeta). La heterogeneidad del hábitat, representada por vegetación ribereña y macrófitas, demostró ser un factor estructurador clave para la biodiversidad bentónica.

**Contribuciones Teóricas/Metodológicas** – El estudio evidencia la maduración científica del área en Brasil, con la creciente adopción de índices multimétricos adaptados regionalmente, y refuerza la necesidad de estandarización de protocolos e inversión en capacitación taxonómica.

**Contribuciones Sociales y Ambientales** – Los hallazgos corroboran el uso de macroinvertebrados como una herramienta accesible y eficaz para el diagnóstico ambiental, fundamental para la conservación de la biodiversidad acuática y la gestión sostenible de los recursos hídricos, orientando acciones de restauración ecológica y saneamiento que contribuyen a la seguridad hídrica y al bienestar de las poblaciones.

**PALABRAS CLAVE:** Bioindicadores. Ecología de agua dulce. Impacto antrópico.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente degradação dos ecossistemas aquáticos, provocada por fatores como expansão urbana, intensificação agrícola e mineração, tem evidenciado a necessidade de instrumentos robustos 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, consolida-se como um pilar do monitoramento contemporâneo (Bonada et al., 2006). Dentre os diversos grupos, os macroinvertebrados bentônicos ocupam posição de destaque por reunirem atributos desejáveis como ampla distribuição, ciclo de vida relativamente curto, diversidade taxonômica e funcional, diferentes graus de tolerância a perturbações e custo de amostragem relativamente baixo (Barbour et al., 1999; Bonada et al., 2006; Buss et al., 2015).

No Brasil, o uso desses organismos como bioindicadores avançou nas últimas décadas, acompanhando um movimento internacional de padronização metodológica (Buss et al., 2015). Contudo, persiste a necessidade de adaptação regional de índices e métricas originalmente concebidos em ambientes temperados, de modo a refletir as particularidades biogeográficas e os gradientes de pressão dos ecossistemas tropicais (Baptista et al., 2007; Buss et al., 2015). Do ponto de vista regulatório, a Resolução CONAMA nº 357/2005, embora baseada predominantemente em parâmetros físico-químicos, estabelece um enquadramento que pode ser significativamente complementado por abordagens biológicas, as quais oferecem um diagnóstico ecológico de maior amplitude temporal (Barbour et al., 1999; Brasil, 2005).

Historicamente, grupos sensíveis como Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) tendem a declinar com o aumento da poluição, ao passo que grupos tolerantes como Chironomidae e Oligochaeta prosperam em cenários alterados (Bonada et al., 2006; Tampo et al., 2021). Esses padrões sustentam o desenvolvimento de índices bióticos como o BMWP (Biological Monitoring Working Party), o ASPT (Average Score Per Taxon) e o índice de Hilsenhoff (HBI/FBI). A difusão de Protocolos de Bioavaliação Rápida (Rapid Bioassessment Protocols - RBP) foi crucial para padronizar elementos da amostragem e análise, garantindo maior comparabilidade entre estudos (Barbour et al., 1999).

Em escala global, Buss et al. (2015) compararam programas de biomonitoramento e evidenciaram convergências metodológicas, mas também lacunas, como a necessidade de maior integração de dados em larga escala. No Brasil, pesquisas reforçam a responsividade das métricas baseadas em macroinvertebrados a gradientes de pressão, demonstrando a robustez de índices como EPT, BMWP e ASPT quando ajustados regionalmente (Tampo et al., 2021). Apesar dos avanços, persistem desafios como a heterogeneidade de protocolos, lacunas taxonômicas e a necessidade de séries temporais mais longas. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo sistematizar a literatura nacional das últimas duas décadas sobre o tema, analisando avanços, lacunas e o potencial do uso de macroinvertebrados bentônicos para o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos no Brasil.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma revisão integrativa da literatura científica, publicada entre os anos de 2004 e 2025, sobre o uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água em ecossistemas aquáticos brasileiros.

## **2.2 Objetivos Específicos**

- Mapear e sistematizar a produção científica nacional, abrangendo diferentes biomas, tipos de corpos d'água e gradientes de impacto ambiental;
- Identificar os índices, métricas e protocolos metodológicos empregados nos estudos;
- Analisar os avanços e lacunas no uso de macroinvertebrados bentônicos no Brasil;
- Propor recomendações práticas para o fortalecimento do biomonitoramento aquático no país.

## **3 METODOLOGIA**

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

### **3.1 Estratégia de busca e seleção dos estudos**

As buscas foram conduzidas nas bases de dados SciELO, Periódicos CAPES, Google Scholar, AmeliCA, ResearchGate e repositórios institucionais de universidades brasileiras. Foram utilizadas combinações de palavras-chave em português e inglês, com operadores booleanos: "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. 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 os trabalhos que atendiam simultaneamente aos seguintes critérios: a) estarem publicados em periódicos científicos revisados por pares; b) apresentarem dados originais sobre comunidades de macroinvertebrados bentônicos em ambientes aquáticos continentais brasileiros; c) utilizarem métricas biológicas ou índices ecológicos para avaliar a qualidade da água. Foram excluídos trabalhos de revisão bibliográfica sem dados empíricos, relatórios técnicos, estudos com enfoque exclusivamente taxonômico ou que estavam indisponíveis em texto completo.

### **3.3 Organização e análise dos dados**

Os artigos selecionados foram sistematizados em planilha eletrônica para extração padronizada das informações: referência e ano, estado/região, bioma, tipo de corpo d'água, principal impacto e principais resultados. Com base nessas categorias, foi construído o Quadro 1 de síntese contendo os 20 estudos analisados.

Quadro 1 - Síntese dos estudos sobre macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água em ecossistemas aquáticos brasileiros (2004-2025)

Referência e Ano	Estado/Região	Bioma	Tipo de corpo d'água	Principal impacto	Principais resultados (síntese)
Callisto et al. (2004)	Serra do Cipó, MG – Sudeste	Mata Atlântica	Riachos	Gradiente longitudinal; macroinvertebrados, leveduras e microbiologia	Varição sistemática da diversidade e composição ao longo do gradiente; cabeceiras mais diversas e sensíveis; jusante mais impactadas.
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.
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.
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.
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.
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.
Lopes et al. (2011)	AM – Norte	Amazônia	Hábitat associado a raízes de <i>Eichhornia crassipes</i>	Influência do hábitat (macrófitas) na comunidade	Raízes de macrófitas aumentam complexidade de hábitat; alta riqueza e abundância;

					composição varia conforme tipo de hábitat.
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.
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.
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.
Oliveira e Callisto (2015)	Bacia tropical – Sudeste	Mata Atlântica	Riachos/rios em gradiente longitudinal	Varição longitudinal de assembleias de macroinvertebrados	Maior riqueza e diversidade em cabeceiras preservadas; queda gradual em direção a trechos mais impactados ao longo da bacia.
Pimenta et al. (2016)	Sudeste – rural vs. urbano	Mata Atlântica	Córregos rural e urbano	Qualidade da água comparada por bioindicadores bentônicos	Córregos urbanos com menor riqueza/diversidade e maior proporção de tolerantes em relação aos rurais; efeito da urbanização.
Gargiulo et al. (2016)	Reservatório Billings, SP – Sudeste	Ambiente lântico 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.
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.
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.
Guimarães et al. (2017)	Barra Mansa, RJ – Sudeste	Mata Atlântica / área	Rio Paraíba do Sul (trecho de maior porte)	Macroinvertebrados como bioindicadores em rio de grande	Trechos impactados com comunidades empobrecidas e

		urbana-industrial		porte	dominadas por tolerantes; macroinvertebrados refletem bem gradiente de degradação.
Novack et al. (2021)	Reservatório – Sul	Campos	Reservatório com macrófitas	Invertebrados bentônicos associados a macrófitas aquáticas	Macrófitas aumentam diversidade e abundância; composição varia com estrutura do hábitat; reforça papel estruturador das macrófitas.
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.
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.
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.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

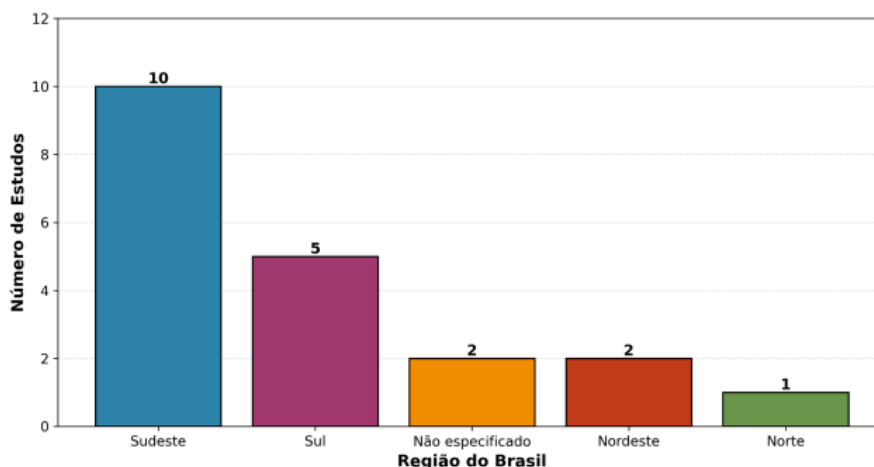
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

##### 4.1 Distribuição dos estudos e contextos ambientais

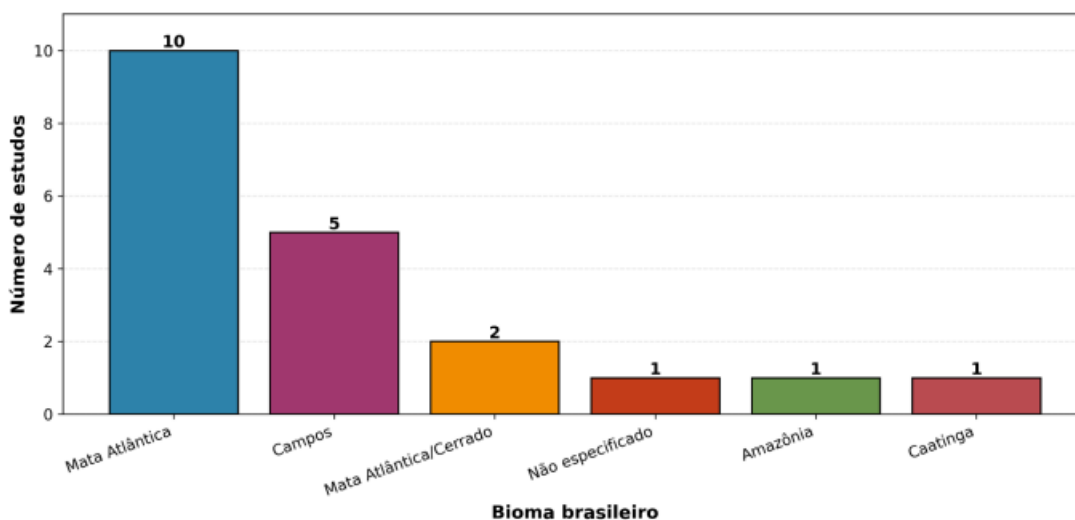
Os artigos abrangem uma ampla variedade de regiões e biomas brasileiros, com predominância de estudos na Mata Atlântica, Cerrado e nas regiões Sul e Sudeste (Figura 1 e Figura 2).

Figura 1 – Distribuição geográfica dos estudos sobre macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores por região, no período de 2004 a 2025



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

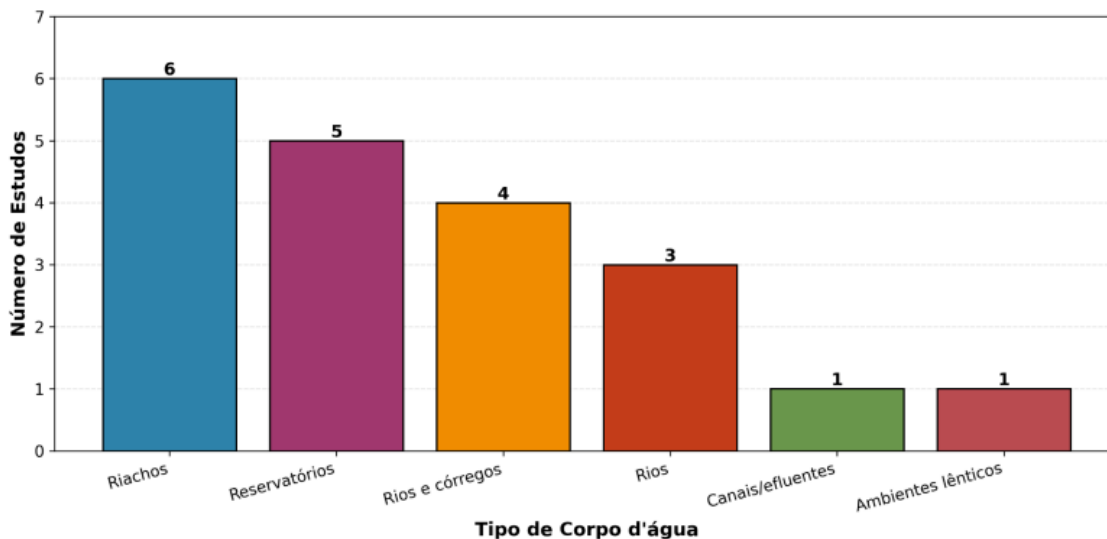
Figura 2 – Distribuição dos estudos sobre macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água para cada bioma brasileiro, no período de 2004 a 2025



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Em relação aos tipos de corpos d'água (Figura 3), a maior parte das pesquisas concentra-se em riachos e córregos de cabeceira (Ribeiro; Uieda, 2005; Tanaka et al., 2015; Silva et al., 2025), reforçando a relevância desses ambientes para o monitoramento, por sua rápida resposta às alterações no uso do solo. Em seguida, observa-se uma quantidade significativa de estudos em reservatórios e lagos urbanos (Piedras et al., 2006; Barbola et al., 2011; Franco et al., 2025), refletindo a crescente atenção aos impactos da urbanização e eutrofização em ambientes lênticos.

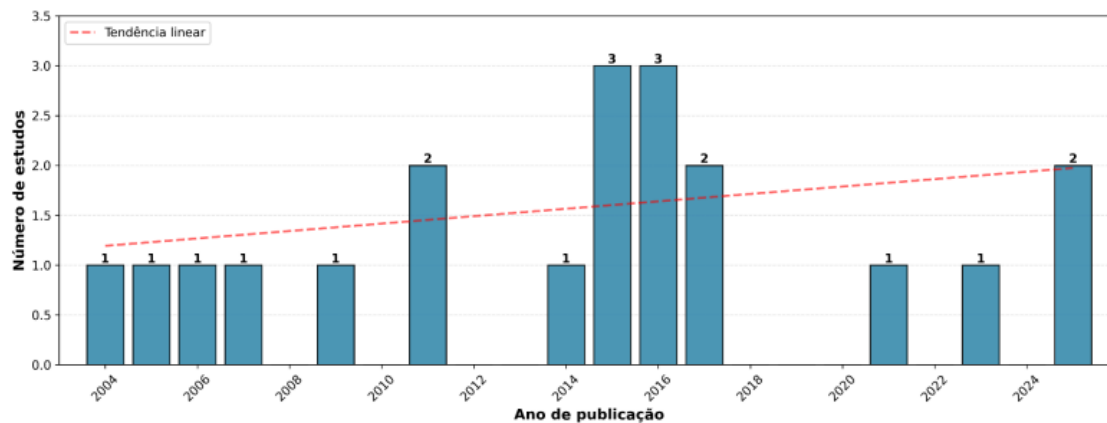
Figura 3 – Tipos de corpos d'água avaliados nos estudos sobre macroinvertebrados bentônicos em ecossistemas



aquáticos brasileiros, no período de 2004 a 2025  
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A distribuição temporal dos 20 estudos revela um claro aumento de publicações a partir de 2011 (Figura 4), com concentração no período de 2011 a 2017 (55% dos trabalhos). Os anos de 2015 e 2016 destacam-se como picos de produção, sugerindo que o uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores se consolidou de forma mais intensa na segunda década analisada.

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



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

#### 4.2 Estrutura das comunidades bentônicas e gradientes de qualidade da água

Um padrão comum nos estudos analisados é a associação entre a integridade ambiental e a estrutura da comunidade bentônica. Em riachos de serra bem conservados, Ribeiro e Uieda (2005) demonstraram alta riqueza e diversidade, com destaque para táxons sensíveis EPT, em trechos com maior heterogeneidade de substrato e boa cobertura ripária.

Resultados compatíveis foram obtidos por Santos e Rodrigues (2015) em um riacho de primeira ordem no Nordeste.

Nos gradientes longitudinais, Callisto et al. (2004) e Oliveira e Callisto (2015) verificaram variação sistemática na composição da fauna, com maior diversidade em cabeceiras e maior dominância de táxons tolerantes em setores médios e inferiores sob influência antrópica. Em rios de maior porte, Guimarães et al. (2017) e Barbosa et al. (2016) observaram que trechos impactados apresentavam comunidades empobrecidas e predominância de organismos tolerantes. Os estudos convergem para indicar que ambientes conservados apresentam comunidades bentônicas mais ricas e com maior participação de táxons sensíveis (EPT).

#### **4.3 Uso do solo, urbanização, efluentes e agrotóxicos**

Os efeitos do uso do solo e da poluição sobre as comunidades bentônicas são destaque em vários estudos. Em paisagens agrícolas, Silva et al. (2025) observaram que o aumento de áreas agrícolas está associado à diminuição da riqueza de macroinvertebrados e à redução de táxons sensíveis. Tanaka et al. (2015) mostraram que métricas da comunidade bentônica respondem consistentemente aos gradientes de uso do solo.

Em córregos de áreas urbanas, Pimenta et al. (2016) verificaram menor riqueza e diversidade, além de maior predominância de organismos tolerantes, devido ao aporte de efluentes domésticos e aumento da carga orgânica. Os estudos de Colpo et al. (2009) também são consistentes com essa perspectiva, ao mostrarem que riachos drenando áreas agrícolas ou receptoras de efluentes urbanos/industriais apresentam comunidades mais tolerantes e piores índices bióticos.

#### **4.4 Influência do habitat e da heterogeneidade estrutural**

A importância da heterogeneidade de habitat é destacada por diversos trabalhos. Em sistemas associados a macrófitas, Lopes et al. (2011) e Novack et al. (2021) revelaram que a presença dessas plantas aumenta a complexidade do ambiente e promove maior abundância e diversidade de macroinvertebrados. Em riachos florestados, Santos e Rodrigues (2015) evidenciaram que a colonização de detritos foliares está associada a uma sucessão de grupos tróficos e à presença de táxons sensíveis. Ribeiro e Uieda (2005) ressaltam que a heterogeneidade do substrato e a preservação da mata ciliar são determinantes para a manutenção de comunidades bentônicas diversas. Em reservatórios, Barbola et al. (2011) e Franco et al. (2025) observaram que a estrutura da comunidade está relacionada às diferenças de profundidade, substrato e uso do entorno.

#### **4.5 Síntese das evidências e implicações para o biomonitoramento**

O conjunto de evidências confirma que os macroinvertebrados bentônicos são ferramentas sensíveis e de alta capacidade diagnóstica para avaliar a qualidade da água em ecossistemas aquáticos brasileiros. Os padrões observados reforçam a necessidade de que protocolos de monitoramento considerem não apenas parâmetros físico-químicos, mas também atributos estruturais do habitat e a resposta da comunidade biológica.

A análise também evidencia que o uso do solo — especialmente agricultura, expansão urbana e lançamento de efluentes — atua como vetor central de degradação, detectável pela alteração da estrutura das comunidades bentônicas. Esses resultados reforçam a importância de integrar o biomonitoramento com ferramentas de geoprocessamento e modelagem ecológica para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos, em consonância com a legislação vigente e com as recomendações da literatura científica.

## 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 (EPT). 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. A heterogeneidade do habitat mostrou-se um fator estruturante chave para a biodiversidade.

O avanço metodológico observado demonstra um amadurecimento científico na aplicação de métricas biológicas e índices multimétricos adaptados às condições regionais brasileiras. 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, a capacitação técnica e o uso de tecnologias emergentes 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 no Brasil.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ARIAS, A. R. L. et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 61–72, 2007.

BACCA, C.; CARARO, R.; MAGRO, D.; REZENDE, S. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores da qualidade da água em riachos de campos e florestas de altitudes. **Revista Espinhaço**, v. 11, n. 1, 2023.

BAPTISTA, D. F. et al. Índice multimétrico baseado em macroinvertebrados bentônicos. *Hydrobiologia*, v. 575, p. 83–94, 2007.

BARBOLA, I. F. et al. Avaliação da comunidade de macroinvertebrados aquáticos como ferramenta para o monitoramento de um reservatório. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 101, n. 1-2, p. 15–23, 2011.

BARBOSA, A. H. da S. et al. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água no rio Apodi-Mossoró. **HOLOS**, v. 32, n. 7, p. 121–132, 2016.

- BARBOUR, M. T. et al. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers**. Washington: U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1999.
- BONADA, N. et al. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 495–523, 2006.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União: Brasília, 2005.
- BUSS, D. F. et al. Biomonitoring of tropical streams: a global perspective on macroinvertebrate-based assessments. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, 2015.
- CALLISTO, M. et al. Diversity assessment of benthic macroinvertebrates in Brazilian streams: a review. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, n. 4, p. 743–755, 2004.
- CHAGAS, F. B. et al. Comunidades de macroinvertebrados como indicador de qualidade da água. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 3, p. 416–425, 2017.
- COLPO, K. D.; BRASIL, M. T.; CAMARGO, B. V. Macroinvertebrados como indicadores de impacto ambiental causado por efluentes industriais. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2087–2092, 2009.
- FRANCO, P. C. et al. Qualidade da água e macroinvertebrados em reservatório urbano. **Revista de Geopolítica**, v. 16, n. 5, 2025.
- GARGIULO, J. R. B. C. et al. Macroinvertebrates as bioindicators in the Billings Reservoir (SP, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 28, 2016.
- GUIMARÃES, R. R. et al. Macroinvertebrados como bioindicadores da qualidade da água no rio Paraíba do Sul. **Revista Dissertar**, n. 26-27, p. 50–57, 2017.
- LOPES, A. et al. Influência do hábitat sobre macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 4, p. 493–502, 2011.
- NOVACK, M. et al. Macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas em reservatório. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 4, p. 741–748, 2021.
- OLIVEIRA, L. B.; CALLISTO, M. Variação longitudinal de macroinvertebrados em riachos brasileiros. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 27, n. 2, p. 145–156, 2015.
- PEREIRA, P. S. et al. Avaliação ecológica de ambientes aquáticos com base em múltiplos indicadores. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 3, p. 409–423, 2014.
- PIEDRAS, S. R. N. et al. Macroinvertebrados como indicadores de qualidade da água em barragem. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 494–500, 2006.
- PIMENTA, S. M. et al. Qualidade da água em córregos urbanos e rurais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 1, p. 198–210, 2016.
- RIBEIRO, L. O.; UIEDA, V. S. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em riacho de serra. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 3, p. 613–618, 2005.
- SANTOS, I. G. A.; RODRIGUES, G. G. Colonização de macroinvertebrados em detritos foliares em riachos. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 105, n. 1, p. 84–93, 2015.
- SILVA, M. S. G. M. E. et al. Influence of land use on macroinvertebrates in tropical streams. **Revista Ambiente & Água**, v. 20, 2025.

TAMPO, L. et al. Macroinvertebrates as ecological indicators: a global synthesis. **Frontiers in Water**, v. 3, 2021.

TANAKA, M. O. et al. Redundância entre métricas ambientais e biológicas em riachos tropicais. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 4, p. 832–846, 2015.