

## A UTILIZAÇÃO DE MACROINVERTEBRADOS AQUÁTICOS COMO SUBSÍDIOS PARA ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO LOCAL

**Luís Gabriel Antão Barboza; Raquel Jackeline Ratz; Thiago Anzolin**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

Avenida Brasil, 4251, Medianeira, Paraná, Brasil. (045)91454492. gabrielbarboza@gmail.com.

**Resumo:** Mudanças significativas em comunidades biológicas ocorrem associadas ao incremento de atividades de urbanização em bacias hidrográficas. Qualquer estresse imposto a um ecossistema aquático manifesta seu impacto nos organismos que vivem nesse ambiente, assim as alterações físicas ou as causadas pela presença de substâncias nocivas nesse meio podem produzir uma série de efeitos nos organismos aquáticos, como mudanças na composição de espécies e deformações morfológicas. Hoje é reconhecido, que a análise das variáveis físicas e químicas reflete uma situação momentânea dos corpos d'água, enquanto os parâmetros biológicos representam uma somatória temporal dos fatores ambientais, que se modifica em resposta à ação antrópica. A utilização de macroinvertebrados bentônicos na avaliação de efeitos de impactos antrópicos sobre ecossistemas aquáticos oferece numerosas vantagens, já que esses organismos apresentam características que os tornam particularmente úteis para tais estudos. O monitoramento biológico é um modo de determinar a qualidade da água, medindo as alterações estruturais e funcionais das comunidades nos sistemas ecológicos, através de sua diversidade e abundância. Em decorrência de mudanças ambientais prejudiciais, ocorre a redução de espécies sensíveis e a proliferação de espécies tolerantes. As comunidades bioindicadoras são extremamente sensíveis às alterações nos ecossistemas em que vivem, fornecendo sinais rápidos sobre problemas e melhoras ambientais, agindo então como um registro biológico da evolução dos ecossistemas. Apesar do emprego dos macroinvertebrados bentônicos ainda ser restrito no Brasil, desde a década passada, instituições de pesquisa e agências de proteção ambiental brasileira têm desenvolvido estudos baseados no uso das comunidades bentônicas para avaliar a qualidade das condições ambientais dos rios. A questão da estrutura da comunidade bentônica é importante, pois auxilia nas avaliações da qualidade ambiental, na conservação da biodiversidade e em projetos envolvendo manejo e recuperação ambientais. Estas comunidades constituem um importante componente do gerenciamento ambiental para captar aspectos da condição ambiental e fornecer informações úteis para o conhecimento científico e atividades de manejo dentro da bacia. Frente ao exposto, o presente estudo objetiva caracterizar a comunidade bentônica, identificar as vantagens da utilização desses organismos na avaliação da qualidade da água, bem como demonstrar sua aplicabilidade e importância no contexto da Gestão das Bacias Hidrográficas.

**Palavras-chave:** Macroinvertebrados bentônicos; Bioindicadores; Recursos hídricos; Bacias hidrográficas; Gestão.

## INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, no século XVIII, e particularmente após a década de 1920, as agressões causadas aos ambientes naturais pelas ações humanas tornaram-se mais evidentes devido ao grande crescimento do consumo pessoal. Entre os problemas ambientais que afligem a humanidade, o mais preocupante e de maior importância é a degradação dos recursos hídricos.

A saúde ecológica de rios é atualmente um assunto de crescente e fundamental importância no manejo de recursos hídricos em todo o mundo. Os ecossistemas aquáticos vêm sofrendo uma série de impactos antropogênicos que alteram o seu funcionamento. Existe um consenso entre especialistas em manejo de recursos hídricos de que o comprometimento de nossas reservas estratégicas aquáticas está associado em geral ao desmatamento para a agricultura (inclusive da mata ciliar), à drenagem de terras alagadas, ao desenvolvimento e ocupação humana, a fontes poluentes de origem industrial, agrícola, e doméstica, ao represamento e canalização, às atividades recreativas, à operação de mineração, a projetos de irrigação e à introdução de espécies exóticas, super exploração de recursos pesqueiros, dentre outras atividades (BAPTISTA *et al.*, 2000).

Karr e Chu (1997) discorrem que as atividades humanas podem degradar a integridade dos recursos hídricos pela alteração de um ou mais dos seguintes atributos: (i) qualidade da água, (ii) estrutura de habitat, (iii) regime de vazão, (iv) fonte de energia e (v) interações biológicas. Todas estas alterações têm levado a uma extensa degradação ecológica dos rios tornando a oferta de bens e serviços insustentável, com declínio da qualidade e disponibilidade da água, inundações intensas, mudança na estrutura e distribuição da biota aquática (POFF *et al.*, 1997). Reconhecer essas alterações adversas nos rios tem direcionado a alternativas de restauração desses sistemas.

Apenas 3% da água existente na Terra é prontamente aproveitável para o consumo, visto que os outros 97% formam os mares e oceanos (JARDIM, 1992). Por ser fundamental à existência de vida no planeta, a preocupação com a conservação dos seus mananciais tornou-se maior nos últimos anos, e a procura de mecanismos eficazes capazes de reduzir os impactos ambientais nesses sistemas tem sido considerados como uma das prioridades de pesquisa deste século (NEGREIROS, 1997).

O Brasil, embora possua em seu território as maiores bacias hidrográficas do planeta, tem a disponibilidade de água para o consumo da população ameaçada. O processo de urbanização acentuado no país a partir da década de 1960, concentrado em regiões metropolitanas, nas capitais dos Estados e em pólos regionais, gerou cidades com infra-estrutura inadequada. De acordo com Tucci (1999) o aumento da área metropolitana impacta uma porção crescente das bacias hidrográficas. Devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial, a urbanização tem levado à crescente degradação da qualidade da água.

Meyer, Paul e Taulbee (2005) discorrem que o número de rios que correm em áreas urbanizadas tem aumentado desde o século passado e provavelmente essa tendência continuará no futuro. Tais rios estão sujeitos a alterações em comum que podem ser chamadas de síndrome urbana: elevadas concentrações de nutrientes e contaminantes, menor número de pequenos rios nas bacias, alteração da morfologia do canal e da sua estabilidade, redução da riqueza da biota com a dominância de espécies mais tolerantes.

Qualquer estresse imposto a um ecossistema aquático manifesta seu impacto nos organismos que vivem naquele ecossistema. De acordo com Friedrich (1996), as alterações físicas ou as causadas pela presença de substâncias nocivas no meio aquático podem produzir uma série de

efeitos nos organismos aquáticos, dentre os quais os mais comuns são: mudanças na composição de espécies, no desenvolvimento, no metabolismo dos organismos e deformações morfológicas. Como todos esses efeitos são produzidos por mudança na qualidade do meio aquático, podem ser incorporados aos métodos biológicos de monitoramento, para fornecer informações sobre ampla gama de assuntos e problemas relacionados à qualidade da água.

Desde a década de 1970, pesquisadores e gestores de recursos hídricos da Europa Ocidental e América do Norte defendem a necessidade de aplicar análises integradas às metodologias tradicionais na classificação de qualidade de águas, visto que, se as medições químicas forem feitas longe da fonte poluente, não serão capazes de detectar perturbações sutis sobre o ecossistema (BUSS, 2006). Enquanto as análises de parâmetros físico-químicos refletem apenas uma situação momentânea do corpo d'água, os biológicos representam uma somatória de fatores ambientais presentes e passados.

O biomonitoramento de corpos hídricos através do uso de macroinvertebrados bentônicos é cada vez mais usado e aceito como uma importante ferramenta na avaliação da qualidade da água. Isso se deve ao fato, segundo Moreno e Callisto (2006), por esses organismos serem geralmente mais permanentes no ambiente e viverem de semanas a alguns meses no sedimento. Por este motivo, o seu monitoramento torna-se mais eficiente que o monitoramento baseado apenas na mensuração de parâmetros físicos e químicos.

Fernandes (2007) afirma que os macroinvertebrados bentônicos são sensíveis a vários tipos de degradação ambiental e responde diferentemente a um amplo espectro de nível e tipos de poluição, podendo apresentar alterações morfológicas causadas pelo longo período de exposição a determinados poluentes. As características mencionadas e a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos tende a refletir o estado de todo o ecossistema aquático, onde o estabelecimento de espécies nas comunidades bentônicas depende do número de espécies já residentes, dos tipos de substratos, dos padrões de corrente, do regime de luz e das concentrações de nutrientes dos rios.

Segundo Junqueira *et al.* (2000), os programas de manejo e monitoramento de recursos hídricos devem incorporar, além dos componentes físicos (como clima, geologia, e hidrologia do sistema) e químicos (parâmetros orgânicos e inorgânicos), os componentes biológicos como, por exemplo, o estudo das comunidades que habitam o sistema de forma a propiciar uma visão completa do meio. Para Moreno e Callisto (2006) um programa ideal de biomonitoramento ambiental é o que integra medições físicas, químicas e biológicas, permitindo a caracterização físico-química dos ecossistemas aquáticos de uma bacia hidrográfica e o estudo da ecologia dos organismos bioindicadores de qualidade de água.

Os níveis de degradação dos sistemas aquáticos atingem hoje patamares alarmantes sendo urgente a necessidade de ampliação dos conhecimentos a respeito dos ecossistemas aquáticos, permitindo que dessa forma seja possível a adoção de métodos mais adequados para o manejo e conservação desses sistemas sem afetar a disponibilidade de recursos para as gerações futuras (MELLETTI, 1997).

De acordo com Buss *et al.* (2004), o primeiro passo para a resolução de problemas ambientais, por meio da gestão dos recursos naturais, é o desenvolvimento de métodos confiáveis na avaliação desses problemas. Assim, têm-se buscado formas rápidas e seguras para se diagnosticar a qualidade dos corpos hídricos. Um dos métodos mais eficazes para avaliar esse aspecto tem sido a utilização de indicadores biológicos.

Com base nestas informações preliminares, buscou-se compilar no presente trabalho, apontamentos da literatura que contribuam para a escolha dos adequados indicadores aplicáveis ao monitoramento da qualidade de ecossistemas aquáticos – com atenção especial à comunidade dos macroinvertebrados bentônicos. Pretendeu-se também, que tais explicações descritas, auxiliem no discernimento entre os efeitos decorrentes da interferência antrópica das variações naturais desses sistemas aquáticos sobre tais indicadores.

## INDICADORES BIOLÓGICOS

A avaliação da qualidade biológica da água começou a ser desenvolvida por ter sido observado que as informações obtidas apenas através das análises dos parâmetros físicos e químicos da água não eram suficientes para descrever integralmente o nível de qualidade dos corpos hídricos (BAPTISTA, 2008).

Entre 1902 e 1909, dois pesquisadores alemães, Kolkwitz e Marsson, desenvolveram uma nova abordagem para estudos sobre poluição da água, que foi por eles denominada "*ecology of plant and animal saprobia*" (Perry e Vanderklein, 1996). Eles sugeriram que muitas zonas bem definidas existentes em um rio poluído por detritos, as áreas atingidas pelo lançamento dos dejetos eram seguidas por sucessivas zonas de recuperação. De acordo com os autores, determinadas espécies de plantas e animais característicos de cada zona, e a qualidade da água do rio poderia ser classificada analisando-se sua comunidade biótica. Esta abordagem foi mais explorada posteriormente originando o conceito de "organismos indicadores" e atualmente vem sendo utilizada não apenas em estudos sobre qualidade da água, mas em diversos outros campos da ambiência.

O aumento do uso de indicadores pode ser explicado pela impossibilidade de se colocar em prática, vários programas de monitoramento com listas completas de parâmetros de poluição, devido a problemas metodológicos, de tempo, de alto custo, e à falta de modelos alternativos às medidas diretas. Desde que é impossível medir e interpretar todos os fatores e variáveis que interagem nas questões ecológicas, os programas de monitoramento iniciaram o desenvolvimento e seleção de indicadores que medem as características dos mais importantes componentes ecológicos e daqueles que são os mais sensíveis à diversidade dos estressores. Estes indicadores ecológicos incluem medidas físicas, químicas e biológicas e índices ou modelos que tentam caracterizar ou resumir componentes complexos ou críticos de um ecossistema e tem sido utilizados para caracterizar status, rastrear ou prever mudanças, identificar estressores ou sistemas em estresse, avaliar riscos e influenciar ações de manejo (KURTZ, JACKSON e FISHER, 2001).

Espécies que possuem tolerâncias ambientais específicas recebem a denominação de "espécies indicadoras". Em síntese, de acordo com Hickey e Clements (1998), a ocorrência de grupos de organismos pouco tolerantes, ou a eliminação destes, associada à abundância de organismos resistentes às condições adversas podem refletir as condições de boa e má qualidade ambiental, respectivamente. Vários organismos podem ser utilizados como detectores do distúrbio ambiental, os quais são denominados bioindicadores e, segundo Queiroz (2008), eles podem ser definidos como organismos selecionados com os quais se podem amostrar, testar e responder questões sobre o ambiente.

Além disso, conforme França e Callisto (2007), o uso dos bioindicadores é mais eficiente do que as medidas instantâneas de parâmetros físicos e químicos (p.ex. temperatura, pH, oxigênio dissolvido, teores totais e dissolvidos de nutrientes) que são normalmente medidos no campo e utilizados para avaliar a qualidade das águas. A Agência de Controle Ambiental dos Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency – USEPA) e a Diretriz da União Européia (94C 222/06, 10 de agosto de 1994) recomendam a utilização de bioindicadores como complemento às informações sobre a qualidade das águas.

O principal papel dos indicadores biológicos é demonstrar os efeitos decorrentes de perturbações, em sua maioria de origem antrópica sobre o ambiente, não cabendo aos indicadores identificar tais perturbações. Os bioindicadores devem ainda ser capazes de distinguir a variabilidade decorrente de ações antrópicas daquelas naturalmente observadas (NIEMI e MCDONALD, 2004). Segundo Lawton e Gaston (2000) uma “espécie indicadora” pode ser utilizada de três formas distintas: a) refletindo o estado biótico ou abiótico de um determinado ambiente; b) revelando evidências de impacto ambiental; c) indicando a diversidade de outras espécies ou mesmo da comunidade toda de uma determinada área.

O critério biológico vem assim, de acordo com Southerland e Stribling (1995), auxiliar na interpretação da condição do estado do ecossistema e já vem sendo amplamente empregado em diversos estados nos EUA pelo órgão ambiental local, sendo que os estados da Florida, Kentucky, Maine, New York, North Carolina, Ohio e Wisconsin foram os primeiros a desenvolver programas de avaliação biológica nas décadas de 70 e 80.

No Brasil o enfoque de bioindicadores de qualidade de água começa a ser discutido apenas agora em vários estados brasileiros (p.ex. Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Goiás) por representantes de ONGs, governo, órgãos de fiscalização e empresas. As informações técnico-científicas que vêm sendo geradas por Universidades e Instituições de Pesquisa representam importante subsídio e embasamento para a incorporação da abordagem dos bioindicadores de qualidade de água na legislação e na implementação de Programas de Biomonitoramento Ambiental (MORENO e CALLISTO, 2006).

O uso de indicadores ambientais é necessário para o diagnóstico ambiental, alertando e norteando as medidas mitigadoras ainda necessárias para a conservação. De acordo com Souza (2001), na biota aquática as comunidades de macroinvertebrados, perifíton e peixes são considerados os melhores indicadores para a qualidade ambiental de rios.

## **BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA**

O monitoramento biológico ou biomonitoramento pode ser definido como o uso sistemático de respostas biológicas para avaliar mudanças ambientais com o objetivo de utilizar esta informação em um programa de controle de qualidade. Nesse sentido, um importante componente desse tipo de estudo é o uso de organismos vivos, especialmente aqueles que apresentam sensibilidade ou tolerância a determinadas condições ambientais, com o objetivo de captar aspectos do ambiente e fornecer informações científicas e de gerenciamento úteis (LADSON *et al.*, 1999).

O biomonitoramento apresenta várias vantagens em relação aos métodos físicos e químicos. Segundo Karr e Chu (1999) enquanto dados físicos e químicos fornecem um indicador pontual das condições do ecossistema, mostrando apenas o momento da coleta, os dados biológicos fornecem um indicador cumulativo das condições ao longo do tempo e as comunidades biológicas refletem a integridade biológica geral, incluindo a física e química. Isto porque os organismos integram efeitos

do seu meio por todo o seu ciclo de vida, possibilitando a avaliação do estado tanto passado quanto atual do meio aquático, permitindo que a avaliação biológica seja utilizada com bastante eficiência na detecção tanto de ondas tóxicas intermitentes agudas quanto de lançamentos crônicos contínuos.

Ainda, conforme Gibson (1996), métodos físicos e químicos requerem testes específicos para a pesquisa de cada tipo de poluente, mas os organismos reagirão a uma vasta gama de compostos tóxicos que podem estar presentes nos sistemas naturais. Assim, o monitoramento biológico é um elemento essencial necessário para avaliar a saúde ambiental do ecossistema aquático, sendo que os organismos podem ser usados em medidas quantitativas, funcionando como diagnóstico para determiná-la. O biomonitoramento rotineiro pode ser relativamente barato, especialmente quando comparado ao custo da avaliação de poluentes tóxicos, com testes químicos ou de toxicidade. Além disso, fornecem ao público expressões mais familiares de saúde ecológica que aquelas fornecidas pelos resultados de tais testes.

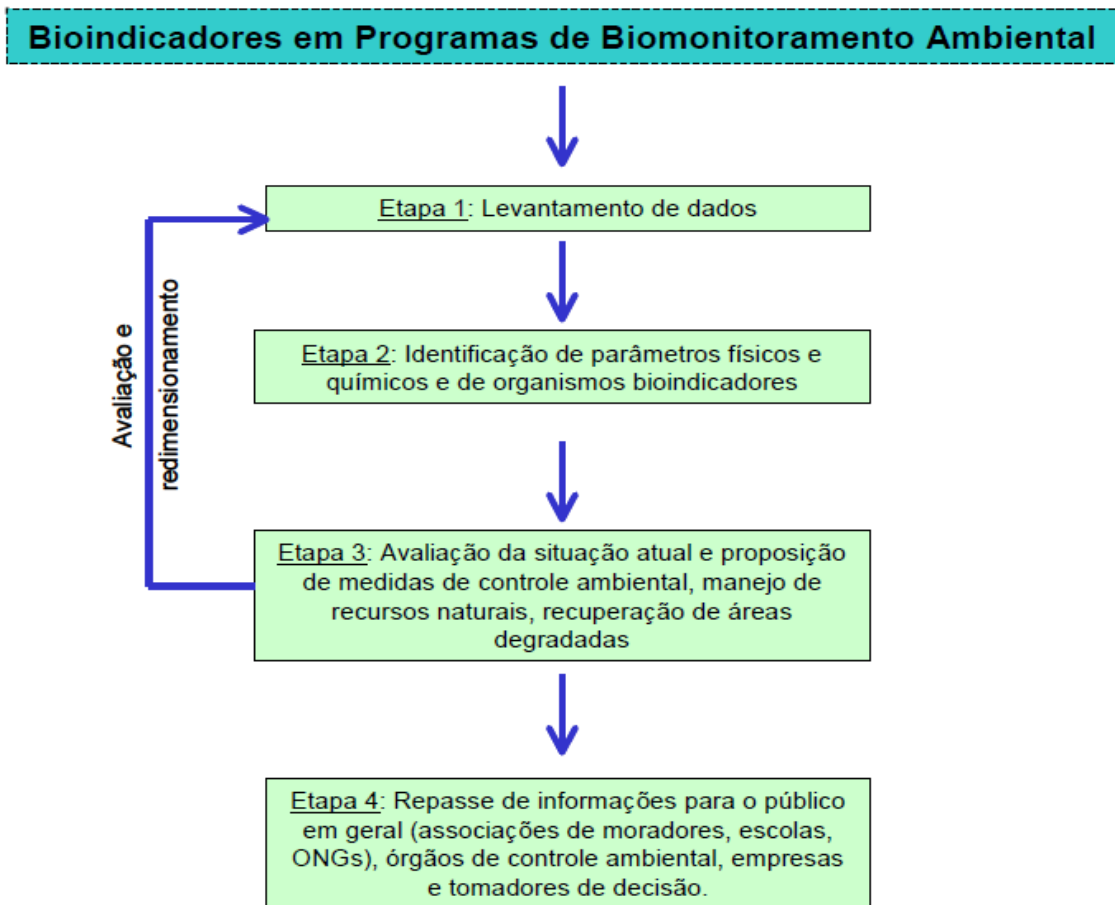
Segundo Callisto e Esteves (1998), protozoários, algas, macroinvertebrados bentônicos e peixes têm sido empregados em diferentes métodos de monitoramento biológico em rios, no entanto, os macroinvertebrados bentônicos constituem o grupo utilizado por mais de dois terços de todos os estudos e/ou métodos biológicos modernos.

A utilização de técnicas de biomonitoramento de corpos hídricos, através de macroinvertebrados bentônicos, vem sendo cada vez mais empregada e aceita como uma importante ferramenta na avaliação da qualidade da água. Apesar de ser utilizada na Europa e na América do Norte desde o início do século XX, no Brasil tal técnica tem apenas poucas décadas de uso (SILVEIRA, 2004).

Os debates sobre as ferramentas a serem utilizadas nestes Programas passam a tomar importância ambiental e social no Brasil após as bacias hidrográficas serem consideradas unidades espaciais de estudo para o planejamento, gerenciamento e desenvolvimento humano na paisagem. Entender as características e o funcionamento dos corpos hídricos passou a ser fundamental para trilhar o caminho rumo ao desenvolvimento sustentável (ROCHA, PIRES e SANTOS, 2000).

A integração de medidas tradicionais físicas e químicas de qualidade da água com medidas biológicas são necessários para fornecer respostas mais completas e sensíveis às questões de gestão de rios, sendo eles rápidos, baratos, capazes de serem repetidos e facilmente compreendidos pelas agências ambientais, possibilitando que limitados recursos possam ser utilizados para numerosos problemas (ARAÚJO *et al.*, 2003).

Callisto, Gonçalves Júnior e Moreno (2011), discorrem que para utilizar bioindicadores de qualidade de água é necessária a obtenção de informações científicas. Segundo eles, é necessário especificamente saber quais são as comunidades biológicas que devem ser monitoradas em um ecossistema aquático, como monitorá-las, analisar estatisticamente e interpretar os dados, e também qual será o custo do monitoramento (financeiro, recursos técnicos, infra-estrutura). O desenvolvimento de um Programa de Biomonitoramento adequado depende de critérios, padrões e avaliação dos riscos de ocorrência de impactos ambientais. Os autores argumentam ainda, que as informações científicas obtidas devem ser prontamente disponibilizadas para as agências governamentais de controle ambiental, por intermédio de relatórios sintéticos, objetivos e de fácil compreensão, elaborados por especialistas com comprovada experiência, que relatem os resultados das pesquisas científicas e de como estes devem ser utilizados para a soluções de problemas ambientais, de modo que as informações possam ajudar as Agências Governamentais de controle ambiental na classificação da qualidade das águas e a orientar os diferentes segmentos da sociedade sobre seu uso adequado – Figura 1.



**Figura 1.** Etapas de um programa de biomonitoramento ambiental, utilizando os bioindicadores de qualidade de água.  
**Fonte:** CALLISTO, GONÇALVES JÚNIOR e MORENO (2010).

## MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES

A comunidade aquática é bastante diversa e apresenta organismos adaptados a diferentes condições ambientais. Dentre esses, os macroinvertebrados bentônicos têm adquirido caráter essencial nos trabalhos de avaliação de impactos sobre os ecossistemas aquáticos fornecendo informações importantes para o biomonitoramento e a recuperação desses ambientes (SILVEIRA e QUEIROZ, 2006).

Macroinvertebrados bentônicos têm sido utilizados como indicadores das condições ambientais em inventários de biodiversidade, no uso de índices de biodiversidade, na utilização em experimentos “*in situ*” e em Programas de Biomonitoramento Ambiental. Cairns & Pratt (1993) abordam a importância histórica desse tema e salientam as bases para o estudo da fauna aquática, especialmente os macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água.

Segundo Shimizu e Kulmann *apud* Bicudo e Bicudo (2004) os invertebrados bentônicos constam entre os organismos mais utilizados nas avaliações de impactos antrópicos sobre ecossistemas aquáticos. Entre as comunidades que habitam os ecossistemas aquáticos, a comunidade bentônica é uma das mais diversificadas, pois nela são encontrados representantes de

diversos filos do reino animal, desde os protozoários até os macroinvertebrados de grandes dimensões, além de vertebrados (WETZEL e LIKENS, 1991). Deve-se reconhecer, entretanto, que os macroinvertebrados bentônicos têm gradativamente recebido maior atenção nas últimas décadas, devido à sua importante participação nos processos ecológicos, particularmente, na ciclagem de nutrientes, na decomposição da matéria orgânica, na aeração do sedimento e fluxo de energia nos ecossistemas aquáticos.

De acordo com Rosenberg e Resh (1993) o uso dos macroinvertebrados como bioindicadores segue duas linhas principais: a) vigilância ou avaliação (*survey*) que consiste, por exemplo, na avaliação antes e depois de um empreendimento ou lançamento de efluentes; e b) a conformidade, que é o uso de organismos para testes de toxicidade.

Vários pesquisadores têm levantado argumentos para o uso de macroinvertebrados bentônicos como ferramenta biológica em Programas de Biomonitoramento. Isso se deve a algumas características que os tornaram adequados a esses estudos, obtendo-se certo sucesso em biomonitoramento (MYSLINSKI e GINSBURG, 1977; HARE, 1992; GOODYEAR e MCNEILL, 1999; ROSENBERG e RESH, 1993), tais como:

- são cosmopolitas e abundantes;
- possuem grande tamanho corporal (muitos são visíveis a olho nu);
- a maioria possui características ecológicas bem conhecidas;
- são de fácil amostragem;
- são sedentários (ou com mobilidade restrita) sendo representativos de condições locais;
- são bentônicos, permitindo a associação com as condições do sedimento;
- alguns podem acumular metais pesados, permitindo avaliar o nível de impacto através de bioacumulação e biomagnificação;
- têm a possibilidade de uso em estudos ecotoxicológicos;
- têm a vantagem de caracterizar a qualidade das águas não apenas no instante de sua coleta mas refletindo também sua situação em um período de tempo consideravelmente mais longo, permitindo avaliar os efeitos de um poluente de forma segura e precisa em diferentes escalas temporais;
- a concentração de substâncias tóxicas na biomassa corporal não é afetada por ciclos reprodutivos ou diferenças sexuais, uma vez que estes organismos inúmeras vezes são coletados enquanto formas imaturas de insetos aquáticos e semi-aquáticos;
- participam das cadeias alimentares e cadeia de detritos, podendo atuar como agentes vitais de entrada de metais pesados ou outros contaminantes nas cadeias alimentares aquáticas;
- oferecem respostas a longa distância por toda a extensão das bacias hidrográficas;
- são abundantes em muitos rios. Pequenos rios, de primeira e segunda ordem, em condições naturais suportam uma fauna de macroinvertebrados diversa e uma fauna limitada de peixes;
- o custo de equipamentos para se trabalhar com tais organismos é relativamente baixo.

Além das características já mencionadas, Queiroz (2008) aponta que os macroinvertebrados são bons integrantes da química da água e do sedimento e, portanto, um nível de contaminante considerado normal ou aceitável dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos ambientais, pode ser subletal ou suficiente para ser detectado por efeitos no crescimento, reprodução ou fisiologia de espécies na comunidade bentônica. Os organismos bentônicos também não podem evitar o contato com a entrada lenta ou rápida de um efluente e respondem de acordo com a magnitude do evento tóxico, que pode não ser analisado por métodos químicos se a água não for amostrada durante o evento.

A comunidade dos macroinvertebrados bentônicos em um rio é muitas vezes utilizada como um efetivo indicador das características do corpo d'água, integrando processos como a superfície geológica, a vegetação da bacia de drenagem, o seu uso e ocupação e mudanças ocorridas no ecossistema (REICE e WOHLBERG, 1993). Por estas razões, essa comunidade tem sido amplamente utilizada como ferramenta para examinar a qualidade da água e as mudanças ocorridas nos ecossistemas em todo o mundo.




A comunidade de invertebrados bentônicos apresenta uma elevada riqueza taxonômica, incluindo protozoários, vermes pertencentes a diversos filos, crustáceos, moluscos e insetos, entre outros. Devido à sua grande diversidade de espécies, a comunidade macrobentônica apresenta diversas formas e modos de vida, adaptando-se ao habitat local, os quais podem ser: fundos de corredeiras, riachos, rios, lagoas e represas (BOEIRA, 2004).

Conforme Queiroz, Strixino e Nascimento (2000), os principais representantes da comunidade bentônica pertencem aos Filos Annelida e Mollusca e às classes Crustacea e Insecta, abrangendo na última, principalmente, formas imaturas, larvas e ninfas. Alguns desses organismos são extremamente sensíveis à poluição e às alterações do habitat, e suas populações tendem a desaparecer assim que ocorrem modificações no ambiente. Outros, no entanto, desenvolveram adaptações que os tornam muito tolerantes às más condições ambientais, sendo comum observar um grande crescimento de sua população em locais de péssima qualidade de água.





Já de acordo com Odum (1988), dentre os inúmeros macroinvertebrados bentônicos, pode-se destacar os Anelídeos, importantes na dinâmica de nutrientes e tolerantes em ambientes com baixa concentração de oxigênio; os Moluscos, representados, nas águas continentais, por dois grupos: os Gastrópodes e os bivalves; os Crustáceos, que possuem como representantes mais comuns em águas doces os ostrácodos, decápodes, copépodes e cladóceros, sendo os primeiros, os mais freqüentes, e grandes consumidores de bactérias, detritos e algas; e os insetos, amplamente estudados por ter uma importante função na dinâmica dos nutrientes dos corpos hídricos e serem bons indicadores de qualidade da água.

Os macroinvertebrados bentônicos diferem entre si, em relação à poluição orgânica, desde organismos típicos de ambientes limpos ou de boa qualidade de água passando por organismos tolerantes até organismos resistentes. Locais poluídos geralmente possuem baixa diversidade de espécies e elevada densidade de organismos, restritos a grupos mais tolerantes. Segundo Goulart e Callisto (2003), os macroinvertebrados bentônicos podem ser classificados em organismos sensíveis ou intolerantes, organismos tolerantes ou facultativos e organismos resistentes, de acordo com sua tolerância frente às condições do ambiente – Quadro 1. A predominância de determinado grupo de organismos no meio pode oferecer indícios sobre as condições de qualidade da água, permitindo avaliar os efeitos da poluição sobre o corpo d'água de maneira holística.





**Quadro 1.** Principais macroinvertebrados aquáticos indicadores de qualidade de água.

GRAU DE INTOLERÂNCIA	PRINCIPAIS ORGANISMOS	CARACTERÍSTICAS
S E N S Í V E I S O U  I N T O L E R A N T E S	<p style="text-align: center;">PLECOPTERA</p> 	<p>Vivem em águas correntes frias e bem oxigenadas, debaixo de pedras, troncos e ramos da vegetação aquática. Suas ninfas são normalmente encontradas em córregos de altitude com fundo pedregoso.</p>
	<p style="text-align: center;">EPHEMEROPTERA</p> 	<p>As ninfas vivem em riachos (águas frias, limpas e bem oxigenadas) e lagoas temporárias (alta temperatura e pouco oxigênio na água), associadas a rochas, troncos ou a vegetação submersa.</p>
	<p style="text-align: center;">TRICHOPTERA</p> 	<p>As larvas vivem em ambientes lóticos (rios) ou lênticos (lagos), predominantemente em águas correntes, limpas e bem oxigenadas. Possuem capacidade de construir casulos ou refúgios de material vegetal ou mineral, para se protegerem dos predadores e/ou para capturar alimentos.</p>

T  
O  
L  
E  
R  
A  
N  
T  
E  
S

<p style="text-align: center;">COLEOPTERA</p> 	<p>São encontrados em ambientes lóticos (associados a diversos tipos de substratos) e lênticos (nadando na superfície e sobre a vegetação). Quando adultos são terrestres.</p>
<p style="text-align: center;">MEGALOPTERA</p> 	<p>Predadores de topo nas cadeias alimentares aquáticas. As larvas são aquáticas e os adultos terrestres. As pupas se desenvolvem em buracos no solo, próximo às margens dos rios. As larvas vivem em águas correntes, debaixo de pedras, troncos e vegetação submersa.</p>
<p style="text-align: center;">HETEROPTERA</p> 	<p>São predadores de insetos aquáticos e terrestres. Espécies maiores podem alimentar-se de pequenos crustáceos e anfíbios. Vivem em remansos de riachos e córregos e poucos resistem a correntezas.</p>
<p style="text-align: center;">ODONATA</p> 	<p>As ninfas exercem um importante papel no ambiente, pois são predadoras, possuindo uma das melhores visões entre os insetos. Vivem em águas limpas ou pouco poluídas, rodeados por vegetação aquática submersa ou emergente. Podem ser encontrados em poças, pântanos, margens de lagos e córregos lentos e pouco profundos.</p>

R  
E  
S  
I  
S  
T  
E  
N  
T  
E  
S

	<p style="text-align: center;">DIPTERA</p> 	<p>Vivem em ambientes aquáticos (rios, lagos, depósitos de água, orifícios de troncos de plantas) com inúmeras estratégias alimentares. Algumas espécies possuem adaptações para poder viver em locais extremamente poluídos, com pouco oxigênio dissolvido na água.</p>
	<p style="text-align: center;">HIRUDINEA</p> 	<p>Vivem em águas paradas, com pouco movimento, sobre troncos, plantas, rochas e restos vegetais. Toleram baixas concentrações de oxigênio e são numerosos em ambientes onde há muita matéria orgânica em decomposição.</p>
	<p style="text-align: center;">OLIGOCHAETA</p> 	<p>Vivem em águas eutrofizadas com fundo lamoso e com grande quantidade de detritos. Podem viver a vários metros de profundidade, onde o oxigênio é escasso.</p>
	<p style="text-align: center;">MOLLUSCA</p> 	<p>Podem ser considerados indicadores de águas duras e alcalinas, pois o carbonato de cálcio é essencial para a construção de suas conchas.</p>

Fonte: Adaptado de MORETTI (2004).

A utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água baseia-se no estudo de mudanças na estrutura e composição desta comunidade em diferentes escalas espaço-temporais, contribuindo na avaliação de impactos ambientais, refletindo assim as mudanças nos ecossistemas (MELO e FROEHLICH, 2001). Conforme Benke (1984), a eutrofização e/ou enriquecimento orgânico de um sistema aquático causa o aumento da densidade ou da biomassa de alguns grupos taxonômicos mais tolerantes, especialmente Oligochaeta, e larvas de algumas espécies de Chironomidae, com destaque para as espécies de *Chironomus*, a diminuição da diversidade de espécies da comunidade, a reestruturação da comunidade com o desaparecimento de espécies sensíveis, o domínio por espécies tolerantes às condições adversas, entre outros efeitos.

Conforme Armitage *et al.*, (1995), entre os invertebrados bentônicos destaca-se a família Chironomidae, por desempenhar papel importante nos estudos de monitoramento da qualidade da água caracterizado pela sua diversidade de espécies com diferentes graus de tolerância às variáveis ambientais. Há espécies muito sensíveis, bem como espécies reconhecidas por sua elevada tolerância, particularmente à eutrofização.

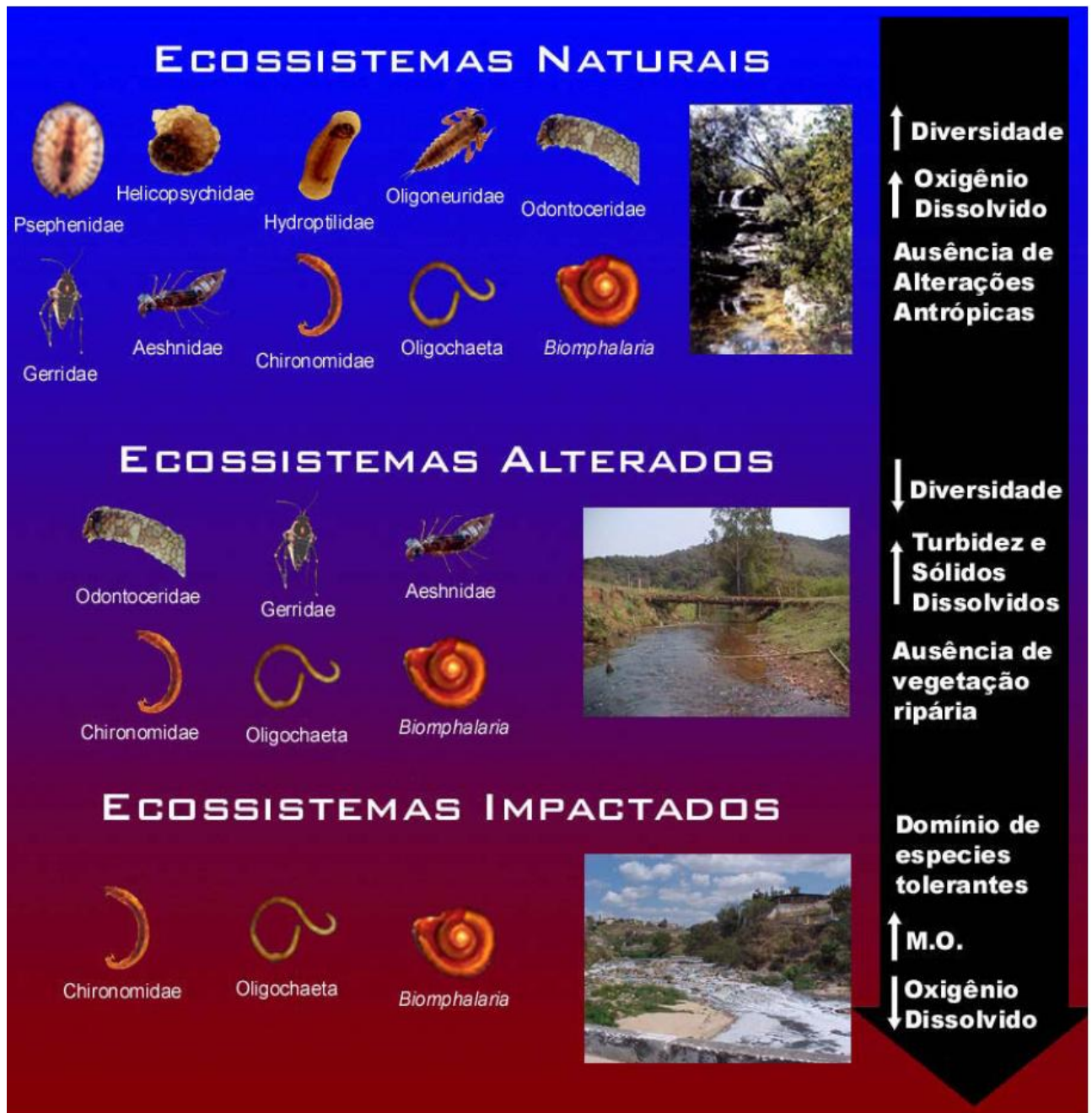
A comunidade bentônica é fortemente afetada pela alteração na qualidade do habitat, como perda da vegetação marginal, diminuição da heterogeneidade do habitat, disponibilidade de alimento e alteração da qualidade química e física da água. Em geral, essas variações provocam alterações na composição, abundância e riqueza da fauna bentônica, refletindo prejuízos no funcionamento de todo o ecossistema aquático (REICE e WOHLBERG, 1993; LEMLY, 1982).

Em um ambiente não perturbado, a riqueza de espécies de macroinvertebrados bentônicos é influenciado, dentre outros fatores, pela geologia, produtividade, heterogeneidade do ambiente, relações de competição e predação. No entanto, de acordo Gualdoni e Corigliano (2002) as perturbações, de origem natural ou antrópica, podem culminar em alterações da qualidade ambiental, como por exemplo, o aumento da carga orgânica e de nutrientes, processos erosivos e assoreamento, contaminação da água e sedimento, alterando as características naturais dos rios e conseqüentemente afetando, dentre outras, a comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

Comunidades bentônicas necessitam de certo tempo para estabelecer suas populações, que por sua vez necessitam de condições ambientais próprias para a sua permanência no meio. A partir desse ponto, atuam como monitores contínuos das condições ecológicas dos rios, indicando tanto variações recentes quanto as ocorridas no passado, decorrentes do lançamento de efluentes industriais e que tenham afetado a qualidade das águas e a diversidade de habitats (CALLISTO, MORETTI e GOULART, 2001).

Reice e Wohlenberg (1993) ressaltam que os invertebrados bentônicos são excelentes indicadores das mudanças ambientais pelo fato de estarem sujeitos a uma maior exposição às substâncias tóxicas presentes no ambiente, devido à história de vida mais longa, se comparado com outros organismos, por exemplo, àqueles que constituem a comunidade zooplânctônica e, por viverem em contato direto com o sedimento, o qual pode armazenar diversos poluentes.

A figura 2 mostra um exemplo de famílias de macroinvertebrados e sua relação com o impacto antrópico. É importante notar que a riqueza de espécies diminui à medida que o impacto se torna mais intenso, permanecendo apenas aquelas mais tolerantes às novas condições ambientais. Vale ressaltar, que a ocorrência e diversidade de organismos bioindicadores pode ser encontrada no ambiente aquático segundo diversas características abióticas, tais como oxigênio dissolvido, turbidez, sólidos sedimentáveis em suspensão e as condições do ambiente, ou seja, o nível de intervenção antropológica no ecossistema.



**Figura 2.** Redução da riqueza de organismos bentônicos em função do aumento do impacto antrópico.  
**Fonte:** MORENO e CALLISTO (2010).

Assim sendo, os integrantes da comunidade bentônica podem atuar como monitores naturais do ambiente, pois tais perturbações, que podem variar em intensidade, frequência e/ou abrangência, são interpretadas por meio de parâmetros ecológicos como riqueza, abundância e diversidade da comunidade. Em função dessas características, a comunidade bentônica tem sido amplamente utilizada em estudos de avaliação da qualidade ambiental (BUSS *et al.*, 2004; PEREIRA e DE LUCA, 2003).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão de bacias hidrográficas requer a avaliação contínua de possíveis impactos antropogênicos que porventura venham ocorrer. O monitoramento dos ecossistemas lóticos através do uso da biota aquática pode ser uma boa estimativa das influências deletérias nestes ambientes, e é particularmente interessante, principalmente, porque esta técnica de detecção da poluição dos rios possui baixo custo e requer pouco aparato técnico.

As avaliações biológicas desempenham importante papel no monitoramento e manejo visando manter ou melhorar a qualidade ambiental e a integridade dos ecossistemas aquáticos, complementando os tradicionais métodos físicos e químicos. Dessa forma, além de fornecer as condições dos ambientes, podem subsidiar tomadas de decisões e estratégias de manejo.

As comunidades bioindicadoras são extremamente sensíveis às alterações nos ecossistemas em que vivem, fornecendo sinais rápidos sobre problemas e melhoras ambientais, agindo então como um “registro biológico” da evolução dos ecossistemas, e refletindo assim, num importante componente do gerenciamento ambiental dentro da bacia.

A análise da estrutura das associações de macroinvertebrados bentônicos, a partir dos seus atributos, tem sido muito útil na elaboração de estudos ecológicos ou diagnósticos ambientais, uma vez que os organismos que vivem dentro ou sobre o substrato refletem, com maior precisão, as condições ambientais anteriores ao momento da amostragem, quando comparados com formas que vivem na coluna d’água, o que favorece amplamente a utilização dos mesmos para diagnósticos ou monitoramentos ambientais.

Os estudos sobre a comunidade de invertebrados bentônicos levam a resultados referentes à importância funcional desses organismos e como eles podem subsidiar indicações da qualidade da água. A utilização de comunidades bentônicas na determinação de indicadores da qualidade dos ecossistemas pode ser uma ferramenta importante através da qual é possível prever e prover práticas adequadas para a manutenção ou melhoria da qualidade dos recursos hídricos.

Nesse contexto, a aplicação do monitoramento conjunto, de aspectos biológicos e físico-químicos, aliada à escolha da adequada escala para a implementação dos programas de monitoramento, constitui-se em uma valiosa ferramenta na gestão de bacias hidrográficas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, F. G.; I. Fichberg; B. C. T. Pinto e M. G. Peixoto** (2003) “*A preliminary index of biotic integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, southeast Brazil*”. Environmental Management, vol. 32, n. 4, pp. 516-526. New York.
- Armitage, P.; P. S. Cranston e L. C. V. Pinder** (1995) *The chironomidae: biology and ecology of non-biting midges*. Chapman & Hall. London.
- Baptista, D. F.** (2008) “*Uso de macroinvertebrados em procedimentos de biomonitoramento em ecossistemas aquáticos*”. Oecologia Brasiliensis, vol. 12, n. 3, pp. 425-441. Rio de Janeiro, Brasil.
- Baptista, D. F.; M. P. Silveira; J. L. Nessimian; D. F. Buss e M. Egler** (2000) “*Perspectivas do uso do biomonitoramento para avaliação da saúde ambiental de ecossistemas aquáticos*”. In: WORKSHOP ÁGUA, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Anais... Rio de Janeiro: UNIRIO. Rio de Janeiro, Brasil.
- Benke, A. C.** (1984) *Secondary production of aquatic insects*. In: Resh, V. H. & ROSENBERG, D. M. (eds.) The ecology of aquatic insects. Praeger Publishers. New York.
- Bicudo, C. E. e D. C. Bicudo** (2004) *Amostragem em Limnologia*. RIMA. São Carlos, São Paulo.
- Boeira, R. C.** (2004) *Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos*. EMBRAPA MEIO AMBIENTE. Jaguariúna, São Paulo, Brasil.
- Buss, D.** (2006) *O Biomonitoramento como Ferramenta de análise da qualidade da água de rios*. Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia, vol. 2. São Paulo, Brasil.
- Buss, D. F.; D. F. Baptista; J. L. Nessimian e M. Egler** (2004) “*Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams*”. Hydrobiologia, vol. 518, pp. 179-188. New York.
- Cairns Junior, J. e J. Pratt** (1993) *A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates*. In: ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. Freshwater bimonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, pp. 10-27. New York.
- Callisto, M. e F. A. Esteves** (1998) *Biomonitoramento da macrofauna bentônica de Chironomidae (Diptera) em dois igarapés amazônicos sob influência das atividades de uma mineração bauxita*. In: Ecologia de Insetos Aquáticos. Oecol. Bras., vol. V. pp. 299-309, PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Callisto, M.; J. F. Gonçalves Júnior e P. Moreno** (2010) *Invertebrados aquáticos como bioindicadores*. Laboratório de Ecologia de Bentos, UFMG. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- Callisto, M.; M. Moretti e M. Goulart** (2001) “*Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde dos riachos*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 6, n. 1, pp. 71-82. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Fernandes, A. C. M.** (2007) *Macroinvertebrados bentônicos como indicadores biológicos de qualidade da água: proposta para elaboração de um índice de integridade biológica*. Tese (Doutorado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, Brasil.
- França, J.S. e M. Callisto** (2007). “*Coleção de macroinvertebrados bentônicos: ferramenta para o conhecimento da biodiversidade em ecossistemas aquáticos continentais*”. Neotropical Biology and Conservation. vol. 2, n. 1, pp. 3-10. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Friedrich, G.** (1996) *The use of biological material*. In: CHAPMAN, D. (org.). Water quality assessments: a guide to use of biota, sediment and water in environmental monitoring. Cambridge University Press, cap. 5, pp. 175-242. New York.
- Gibson, G. R.** (1996) *Biological criteria: technical guidance for streams and small rivers*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D. C. New York.

- Goodyear, K. L. e S. McNeill (1999)** “*Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macro-invertebrates of different feeding guilds: a review*”. The Science of the Total Environment, v. 229, p.1-19. New York.
- Goulart, M. e M. Callisto (2003)** “*Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental*”. Revista da FAPAM, vol. 2, n. 1. Pará de Minas, Minas Gerais, Brasil.
- Gualdoni, C. M. e M. C. Corigliano (2002)** “*Distribución Del bentos y la deriva de macroinvertebrados em tramos fluviales com diferentes condiciones de estres ambiental*”. Acta Limnologica Brasil. vol. 14, n. 1, pp. 1-13 Botucatu, São Paulo, Brasil.
- Hare, L. (1992)** “*Aquatic insects and trace metals: bioavailability, bioaccumulation and toxicology*”. Critical Reviews in Toxicology, vol. 22, pp. 327-369. London.
- Hickey, C. W. e W. H. Clements (1998)** “*Effects of heavy metals on benthic macroinvertebrates communities in New Zeland streams*”. Environmental Toxicology and Chemistry. vol. 17, n. 11, pp. 2238-2346. New York.
- Jardim, W. F. (1992)** “*A contaminação dos recursos hídricos por esgoto doméstico e industrial*”. Química Nova, vol. 15, pp. 144-146. São Paulo, Brasil.
- Junqueira, M. V.; M. C. Amarante; C. F. S. Dia e E. S. França (2000)** “*Biomonitoramento da qualidade das águas da bacia do Alto Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados*”. Acta Limnologica Brasil, vol. 12, n. 1, pp. 73-87. Botucatu, São Paulo, Brasil.
- Karr, J. R. e E. W. Chu (1997)** “*Biological monitoring: essential foundation for ecological risk assessment*”. Human and Ecological Risk Assessment, vol. 3, pp. 993-1004. New York.
- Karr, J. R. e E. W. Chu (1999)** *Restoring life in running waters: better biological monitoring*. Island Press. Covelo, New York.
- Kurtz, J. C.; L. E. Jackson e W. S. Fisher (2001)** “*Strategies for evaluating indicators based on guidelines from the Environmental Protection Agency’s Office of Research and development*”. Ecological Indicators, vol. 1, pp. 49-60. New York.
- Ladson, A. R.; L. J. White; J. A. Doolan e J. L. Tilleard (1999)** “*Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia*”. Freshwater Biology, vol. 41, n. 2, pp. 453 – 468. England.
- Lawton, J. H. e K. J. Gaston (2000)** *Indicator species*. In: S. A. LEVIN. Encyclopedia of Biodiversity. Academic Press, vol. 3, pp. 437-450. San Diego, USA.
- Lemly, A. D. (1982)** “*Modification of benthic insect communitites in polluted streams: combined effects of sedimentation and nutrient enrichment*”. Hydrobiologia, vol. 87, pp. 229-245. New York.
- Meletti, P. C. (1997)** *Avaliação da qualidade da água e do sedimento na bacia do rio Piracicaba, através de parâmetros ecotoxicológicos*. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Melo, A. S. e C. G. Froehlich (2001)** “*Evaluation of methods for estimating macroinvertebrate species richness using individual stones in tropical stream*”. Freshwater Biology, vol. 46, pp. 711 – 721. England.
- Meyer, J. L.; M. J. Paul e W. K. Taulbee (2005)** *Stream ecosystem function in urbanizing landscapes*. Journal of North Americian Benthological Society, vol. 24, pp. 602-612. New York.
- Moreno, P. e M. Callisto (2006)** “*Benthic macroinvertebrates in the watershed of an urban reservoir in southeastern Brazil*”. Hydrobiologia, vol. 560, pp. 311-321. New York.
- Moreno, P. e M. Callisto (2010)** *Bioindicadores de qualidade de água ao longo da Bacia do Rio das Velhas (MG)*. Laboratório de Ecologia de Bentos, UFMG. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

- Moretti, M. S.** (2004) Atlas de identificação rápida dos principais grupos de macroinvertebrados bentônicos. Laboratório de Ecologia de Bentos, UFMG. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- Myslinski, E. e W. Ginsburg** (1977) *Macroinvertebrates as indicators of pollution*. Journal of the American Water Works Association, vol. 69, pp. 538-544. New York.
- Negreiros, S.** (1997) “*CETESB conclui inventário e prepara plano de ação*”. Saneamento Ambiental, n. 46, pp. 30-34. São Paulo, Brasil.
- Niemi, G. J. e M. E. McDonald** (2004) “*Application of ecological indicators*”. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, vol. 35, pp. 89-111. New York.
- Odum, E. P.** (1988) Fundamentos de ecologia. Guanabara. Rio de Janeiro, Brasil.
- Pereira, D. e S. J. De Luca** (2003) “*Benthic macroinvertebrates and the quality of the hydric resources in Maratá creek basin (Rio Grande do Sul, Brazil)*”. Acta Limnologica Brasil. vol. 15, n. 2, pp. 57-68. Botucatu, São Paulo, Brasil.
- Perry, J. e E. Vanderklein** (1996) *Water quality: Management of a natural resource*. Blackwell Science: Cambridge. Massachusetts, USA.
- Poff, N. L., D. Allan, M. B. Bain, J. R. Karr, K. L. Prestegard, B. D. Richter, R. E. Sparks e J. C. Stromberg** (1997) “*The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration*”. BioScience, vol. 47, n. 11, pp. 769-784. New York.
- Queiroz, J. F.** (2008) *Ecossistemas aquáticos e seu manejo*. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, São Paulo, Brasil.
- Queiroz, J. F.; S. T. Strixino e V. M. C. Nascimento** (2000) *Organismos bentônicos bioindicadores da qualidade das águas*. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, São Paulo, Brasil.
- Reice, S. R. e M. Wohlenberg** (1993) *Monitoring freshwater benthic macroinvertebrates and benthic processes: measures for assessment of ecosystem health*. In: RESH, V.H.; ROSENBERG, G.D.M. (Eds.) *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, pp. 287-305. New York.
- Rocha, O.; J. S. R. Pires e J. E. Santos** (2000) *A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento*. In: Espíndola, E. L. G. (Org.). *A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho*. Rima Editora, pp. 1-16. São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Rosenberg, D. M. e V. H. Resh** (1993) *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall. New York.
- Silveira, M. P.** (2004) *Aplicação do biomonitoramento da qualidade da água em rios*. Embrapa Meio Ambiente. Documento n. 36. Jaguariúna, São Paulo, Brasil.
- Silveira, M. P. e J. F. Queiroz** (2006) *Uso de coletores com substrato artificial para monitoramento biológico de qualidade de água*. Embrapa Meio Ambiente. Documento n. 39. Jaguariúna, São Paulo, Brasil.
- Southerland, M. T. e J. B. Stribling** (1995) *Status of biological criteria development and implementation*. In: W. S. DAVIS e T.P.SIMON. *Biological Assessment and Criteria*. Lewis Publishers, pp. 81-96. Boca Raton, EUA.
- Souza, P. A. P.** (2001) *A importância do uso de bioindicadores da qualidade: o caso específico das águas*. RIMA. São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Tucci, C. E. M.** (1999) *Água no meio urbano*. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Instituto de Estudos Avançados da USP, cap. 14, pp. 475-508. São Paulo, Brasil.
- Wetzel, R. G. e G. E. Likens** (1991) *Limnological Analyses*. 2. ed. Springer-Verlag. New York.