

Invertebrados Aquáticos como Bioindicadores

Marcos Callisto¹; José Francisco Gonçalves Jr.² & Pablo Moreno³

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral, Laboratório de Ecologia de Bentos, CP. 486, CEP. 30.161-970, Belo Horizonte, MG, callisto@icb.ufmg.br - www.icb.ufmg.br/~bentos

¹ Prof. Ecologia, Depto. Biologia Geral, Inst. Ciências Biológicas/UFMG – pesquisador 1C-CNPq

² Doutorando Programa de Pós-Graduação ECMVS-ICB/UFMG

³ Mestrando Programa de Pós-Graduação ECMVS-ICB/UFMG

Abstract

Some aquatic invertebrates can indicate the quality of freshwater ecosystem habitats. Their presence or absence can be interpreted as signals of changes in the environment, or help to diagnose the causes of an environmental problem. Anthropogenic impacts are reducing water quality and freshwater biodiversity. Here, we discuss the value of benthic macroinvertebrates as example of potential ecological indicators in Environmental Biomonitoring Program developed in the das Velhas River watershed, Minas Gerais State, Brazil. Changes in characteristics and ecosystem services are discussed by comparing human impacted and natural freshwater ecosystems.

Introdução

Os ecossistemas aquáticos têm sido alterados de maneira significativa devido a múltiplos impactos ambientais resultantes de atividades mineradoras; construção de barragens e represas; retificação e desvio do curso natural de rios; lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados; desmatamento e uso inadequado do solo em regiões ripárias e planícies de inundação; exploração de recursos pesqueiros e introdução de espécies exóticas (Goulart & Callisto, 2003).

O resultado dessas alterações representa uma queda acentuada da biodiversidade aquática, em função da destruturação do ambiente físico, químico e alterações na dinâmica e estrutura das comunidades biológicas (Callisto *et al.*, 2001b). Os rios recebem materiais, sedimentos e poluentes de toda sua bacia de drenagem, refletindo os usos e ocupação do solo nas áreas vizinhas. Os principais processos degradadores, resultantes das atividades humanas nas bacias de drenagem, causam o assoreamento e homogeneização do leito de rios e córregos, diminuição da diversidade de habitats e microhabitats e eutrofização artificial (enriquecimento por aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio e conseqüente perda da qualidade ambiental) (Callisto *et al.*, 2002; Goulart & Callisto, 2003).

A bacia do rio das Velhas abrange 760 Km de extensão da cidade de Ouro Preto a Barra do Guaicuí (MG), sendo a maior sub-bacia do rio São Francisco. Cerca de 4,5 milhões de habitantes, em mais de 50 municípios dependem de suas águas em uma área de quase 30 mil Km². Estas águas, além de serem habitats

naturais para a vida silvestre, abastecem residências e indústrias, são utilizadas em atividades de saneamento (diluição de esgotos), extração mineral, hotelaria, dessedentação de animais, pesca, piscicultura, agricultura, geração de energia elétrica, navegação, recreação de contato primário. Entretanto, o desenvolvimento econômico e social dos municípios e o crescimento acelerado das populações de entorno têm aumentado de maneira quase exponencial a emissão de efluentes não tratados de esgotos domésticos e industriais, superando a capacidade de tamponamento em grande parte da bacia, reduzindo a qualidade das águas na bacia.

Os impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos têm diferentes origens e formas. Muitas vezes, o lançamento de compostos químicos nas águas resulta em concentrações muito superiores às encontradas naturalmente (Tabela 1). Como consequência, observam-se modificações no curso e composição físico-química natural dos rios, na cobertura vegetal, nas margens, na cor da água e na biota existente.

A proteção dos mananciais de recursos hídricos deve ter uma alta prioridade na sociedade moderna. Estes mananciais localizam-se em córregos, rios, lagos e lagoas ou aquíferos subterrâneos e são utilizados para suprir as atividades das populações humanas (domésticas, agrícolas e industriais). Impedir a contaminação de fontes de água potável é importante para uma boa saúde pública, pois diminui os gastos com o tratamento de doenças de veiculação hídrica, e também garante a integridade e manutenção da vida silvestre. O tratamento de 1m³ de água de boa qualidade custa quatro vezes menos do que é gasto com o tratamento da mesma quantidade de água de um rio poluído (Goulart & Callisto, 2003). Além disso, cada real aplicado em água e esgoto poupa R\$ 4,30 em saúde, o que certamente ajudaria a diminuir a média de 238 óbitos/dia causados por doenças provocadas pela água contaminada e dois terços das internações hospitalares no SUS (incluídos os adultos) (informações do Dr. Marcelo Chiaperini, médico sanitário, publicadas no Jornal O Tempo, Belo Horizonte, de 24/08/2003). Infelizmente, tem-se observado o crescimento de fontes poluidoras em especial o lançamento de esgotos e efluentes industriais nos leitos dos nossos rios. Com isso, a sociedade brasileira se vê obrigada cada vez mais a investir mais recursos no tratamento da água. Outro grave problema ambiental também observado ao longo dos córregos e rios, sobretudo nos que se localizam em planícies de inundação, é a retirada das matas ciliares. A retirada da vegetação marginal na margem dos rios elimina as barreiras naturais que impedem o carreamento de fertilizantes e herbicidas, expõe as margens à erosão, facilita o transporte de sedimentos e o assoreamento do leito dos rios. Além disso, aumenta o fluxo da correnteza, reduz a capacidade de retenção e infiltração de água no solo, e aumenta os efeitos das enchentes e inundações.

Bioindicadores de Qualidade de Água

Bioindicadores são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, quantidade e distribuição indicam a magnitude de impactos ambientais em um ecossistema aquático e sua bacia de drenagem

(Callisto & Gonçalves, 2002). Sua utilização permite a avaliação integrada dos efeitos ecológicos causados por múltiplas fontes de poluição. Além disso, 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, etc) 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.

Dentre os bioindicadores há grupos de espécies diretamente relacionados a um determinado agente poluidor ou a um fator natural potencialmente poluente (p.ex. altas densidades *Oligochaeta* (“minhocas d’água”) e de larvas vermelhas de *Chironomus*, Diptera, em rios com elevados teores de matéria orgânica). Além disso, são importantes ferramentas para a avaliação da integridade ecológica (condição de “saúde” de um rio, avaliada através da comparação da qualidade da água e diversidade de organismos entre áreas impactadas e áreas de referência, ainda naturais e a montante). Os bioindicadores mais utilizados são aqueles capazes de diferenciar entre fenômenos naturais (p.ex. mudanças de estação e ciclos de chuva-seca) e estresses de origem antrópica, relacionados a fontes de poluição pontuais ou difusas.

A Abordagem “Bioindicadores” no Programa de Biomonitoramento Ambiental na Bacia do Rio das Velhas

Para utilizar bioindicadores de qualidade de água é necessária a obtenção de informações científicas. Especificamente, é necessário 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, infraestrutura). O desenvolvimento de um Programa de Biomonitoramento adequado depende de critérios, padrões e avaliação dos riscos de ocorrência de impactos ambientais. As informações científicas obtidas devem ser prontamente disponibilizadas para as agências governamentais de controle ambiental (p.ex. FEAM, IBAMA e Secretarias de Meio Ambiente), 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 (Figura 1). As informações poderão ajudar as Agências Governamentais de controle ambiental (p.ex. FEAM, Comitês de Bacia) na classificação da qualidade das águas e a orientar os diferentes segmentos da sociedade sobre seu uso adequado (Quadro 1). Atualmente, o enquadramento de nossos rios em classes de águas é realizado segundo padrões físico-químicos, considerando a toxicidade relativa ao consumo humano, sem levar em conta informações sobre organismos bioindicadores de qualidade de água.

A utilização dos bioindicadores é extremamente útil, especialmente para a avaliação de impactos ambientais decorrentes de descargas pontuais de esgotos domésticos e efluentes industriais. Monitorando-se estações de amostragem a montante, no local de lançamento e a jusante da fonte poluidora, pode-se identificar as conseqüências ambientais para a qualidade da água e saúde do ecossistema aquático.

A composição em espécies e a distribuição espaço-temporal dos organismos aquáticos alteram-se pela ação dos impactos. Quanto mais intensos forem, mais pronunciadas serão as respostas ecológicas dos organismos aquáticos bioindicadores de qualidade de água, podendo haver inclusive a exclusão de organismos sensíveis à poluição (como as formas imaturas de muitas espécies de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) (Callisto *et al.*, 2001a).

A aplicação de Programas de Biomonitoramento por meio de bioindicadores de qualidade de água ocorre em etapas (Quadro 2). Como resultado destes programas, pode-se avaliar a eficiência de estações de tratamento de esgotos (ETEs) e subseqüentes lançamentos em corpos d'água, assoreamentos em rios, efeito de chuva ácida e de práticas agrícolas, remoção da vegetação ripária e efeitos da introdução de espécies exóticas sobre as espécies existentes no local.

Os macroinvertebrados bentônicos são eficientes para a avaliação e monitoramento de impactos de atividades antrópicas em ecossistemas aquáticos continentais (Callisto, 2000; Goulart & Callisto, 2003). São relativamente sésseis e muitos organismos bentônicos (*benthos*, do grego, fundo) alimentam-se de matéria orgânica produzida na coluna d'água ou daquela proveniente da vegetação marginal que cai no leito dos rios. São importantes componentes da dieta de peixes, anfíbios e aves aquáticas e por isso transferem a energia obtida da matéria orgânica morta retida no sedimento para os animais que deles se alimentam. O conjunto de organismos chamados "macroinvertebrados bentônicos" vive no fundo de corpos d'água continentais (rios e lagos). Dentre eles predominam as larvas de insetos aquáticos, minhocas d'água, caramujos, vermes e crustáceos, com tamanhos de corpo maiores que 0,2-0,5 mm (Callisto, 2000).

Os macroinvertebrados bentônicos são bons bioindicadores da qualidade de água porque são geralmente mais permanentes no ambiente, pois vivem 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 (Lenat & Barbout, 1994; Alba-Tercedor, 1996). O Programa de Biomonitoramento Ambiental ideal 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. O uso destes organismos como bioindicadores é baseado em um princípio simples: submetidos a condições adversas, os organismos se adaptam ou morrem. Portanto, os organismos que vivem em um dado ecossistema estão adaptados às suas condições ambientais e por isso devem refletir o nível de preservação de condições naturais ou as

alterações provocadas pela emissão de poluentes ambientais (Hynes, 1974) (Figura 2).

No Projeto Manuelzão, no âmbito do sub-projeto S.O.S. Rio das Velhas, temos a integração de pesquisadores do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG e do Laboratório Metropolitano da COPASA, para o desenvolvimento do Programa de Biomonitoramento da bacia do rio das Velhas. Além de parâmetros físico-químicos (p.ex. temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, P-total, N-total, N-NH_4^+ , TDS, turbidez), têm sido realizadas coletas de parâmetros microbiológicos de qualidade de água (p.ex. coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, *Streptococcus fecais*) e amostragens qualitativas e quantitativas de fitoplâncton e zooplâncton, além de peixes e macroinvertebrados bentônicos.

Perspectivas Futuras

A utilização dos bioindicadores de qualidade de água no Programa de Biomonitoramento Ambiental da bacia do rio das Velhas, contribuirá para o diagnóstico das condições ambientais e proporcionará informações científicas que subsidiem os tomadores de decisão (Figura 3). Esta abordagem é baseada na busca do conhecimento da estrutura e funcionamento das comunidades de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água; o entendimento da dinâmica dos recursos hídricos na bacia do rio das Velhas; a formulação de modelos ecológicos e no desenvolvimento e aplicação de índices bióticos calibrados para a realidade climática brasileira. Acreditamos que estas ferramentas ecológicas possam ser utilizadas na avaliação da saúde, qualidade e preservação dos ecossistemas aquáticos. O projeto Manuelzão poderá então contribuir para a formulação de um modelo de gestão dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais. A partir de então, este modelo poderá servir de exemplo para a formulação de projetos ambientais do mesmo porte em outras regiões de nosso país.

Paralelamente, está sendo firmado um Acordo de Cooperação Científica entre a UFMG e a US-Environmental Protection Agency (EUA), que permitirá o intercâmbio de pesquisadores, pós-graduandos e graduandos para treinamento em Programas de Monitoramento Ambiental nos Estados Unidos. Esta parceria com o US-EPA nos ajudará a desenvolver este Programa de Biomonitoramento Ambiental na bacia do Rio das Velhas utilizando metodologias e técnicas atuais e padronizadas internacionalmente.

Os resultados obtidos servirão para apontar áreas prioritárias para a preservação da vida silvestre e para decidir quais as medidas corretas para efetuar o manejo sustentado para a exploração racional pela sociedade, incluindo a pesca e o abastecimento doméstico e industrial. Esse tipo de manejo sustentado prevê a diminuição dos riscos à saúde das populações que vivem ou dependem dos recursos hídricos da bacia do rio das Velhas.

Agradecimentos

Somos especialmente gratos aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos do ICB/UFMG (biólogos Juliana França, Wander Ribeiro e Karina Moreyra) pelo auxílio nas coletas de campo e processamento do material em laboratório; às

sugestões à versão preliminar deste texto pelo Prof. Rogério Parentoni Martins (UFMG), Prof. Leonardo Maltchik (UNISINOS, RS), Prof. Alex Enrich-Prast (UFRJ) e Prof. Michael Goulart (FEAM e FAPAM, MG); à coordenação do Projeto Manuelzão pelo convite a participar deste livro; ao apoio financeiro, logístico e de infra-estrutura concedidos pelo CNPq, FAPEMIG, CAPES, US Fish & Wildlife Service, Pad Foundation, Pad Aware Foundation, CEMIG, COPASA e Petrobrás.

Referências Bibliográficas

- ALBA – TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA)*, Almería, v. 2, p. 203-13. ISBN: 84-784
- CALLISTO, M. 2000. *Macroinvertebrados bentônicos*. In: Bozelli, R.L.; Esteves, F.A. & Roland, F. *Lago Batata: impacto e recuperação de um ecossistema amazônico*. Eds. IB-UFRJ/SBL. Rio de Janeiro, 139-152pp.
- CALLISTO, M., FERREIRA, W., MORENO, P., GOULART, M. D. C., PETRUCIO, M. 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnológica Brasiliensis*. v.13: 91-98.
- CALLISTO, M. & GONÇALVES, J.F.Jr. 2002. A vida nas águas das montanhas. *Ciência Hoje* 31 (182): 68-71
- CALLISTO, M., MORENO, P., BARBOSA, F. 2001a. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, Southeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 61(2): 259-266.
- CALLISTO, M., MORETTI, M., GOULART, M. D. C. 2001b. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 6 (1)71-82.
- GOULART, M.D. & CALLISTO, M. 2003. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista FAPAM (no prelo)*.
- HYNES, H, B. N. 1974. Comments on taxonomy of Australian Austroperlidae and Gripopterygidae (Plecoptera). *Australian Journal of Zoology*. Csiro Publications, Collingwood. 1-52, Suppl. 9.
- LENAT, D. R. & BARBOUT, M. T. 1994. Using benthic macroinvertebrate community structure for rapid, cost – effective, water quality monitoring: rapid bioassessment. In: Coeb, S. L. & Spacie, A. (eds) *Biological Monitoring of aquatic systems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida; p. 187-215
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). On line site: <http://www.epa.org>

Bioindicadores em Programas de Biomonitoramento Ambiental

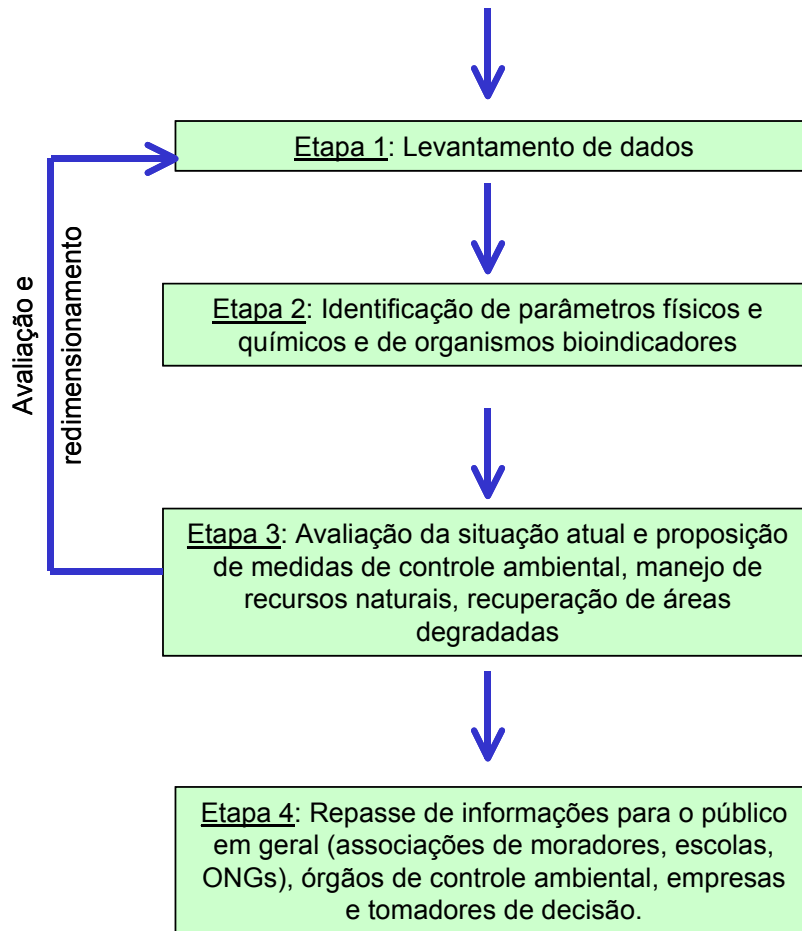


Figura 1: Etapas de um programa de biomonitoramento ambiental, utilizando os bioindicadores de qualidade de água.

Bioindicadores de Águas de Boa Qualidade



Trichoptera - Odontoceridae
Vivem em águas correntes, limpas e bem oxigenadas.
Constroem casas para se proteger.



Plecoptera - Perlidae
Altamente sensíveis à poluição.
Vivem em águas de ótima qualidade.



Ephemeroptera - Oligoneuridae
Vivem em águas limpas e correntes, com alta oxigenação.



Coletoptera - Psephenidae
Algumas espécies desenvolvem todo o seu ciclo de vida na água, algumas possuem apenas larvas e pupas aquáticas, e os adultos são aéreos. Intolerantes à poluição.

Bioindicadores de Águas de Má Qualidade



Diptera - Chironomidae
Vivem em diferentes ambientes aquáticos. Algumas espécies são tolerantes à poluição orgânica (esgotos) e industrial, podendo viver em águas poluídas.



Oligochaeta
Vivem em qualquer tipo de água, sendo tolerantes à poluição. Bem adaptados a sedimento lodoso com abundância de detritos de plantas e animais.

Figura 2: Exemplos de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água em um ecossistema natural (córrego Congonhas, Parque Nacional da Serra do Cipó, MG) e em um ecossistema impactado (córrego do Cardoso, região metropolitana de Belo Horizonte, MG). (Fotos do acervo do Laboratório de Ecologia de Bentos do ICB/UFMG).

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

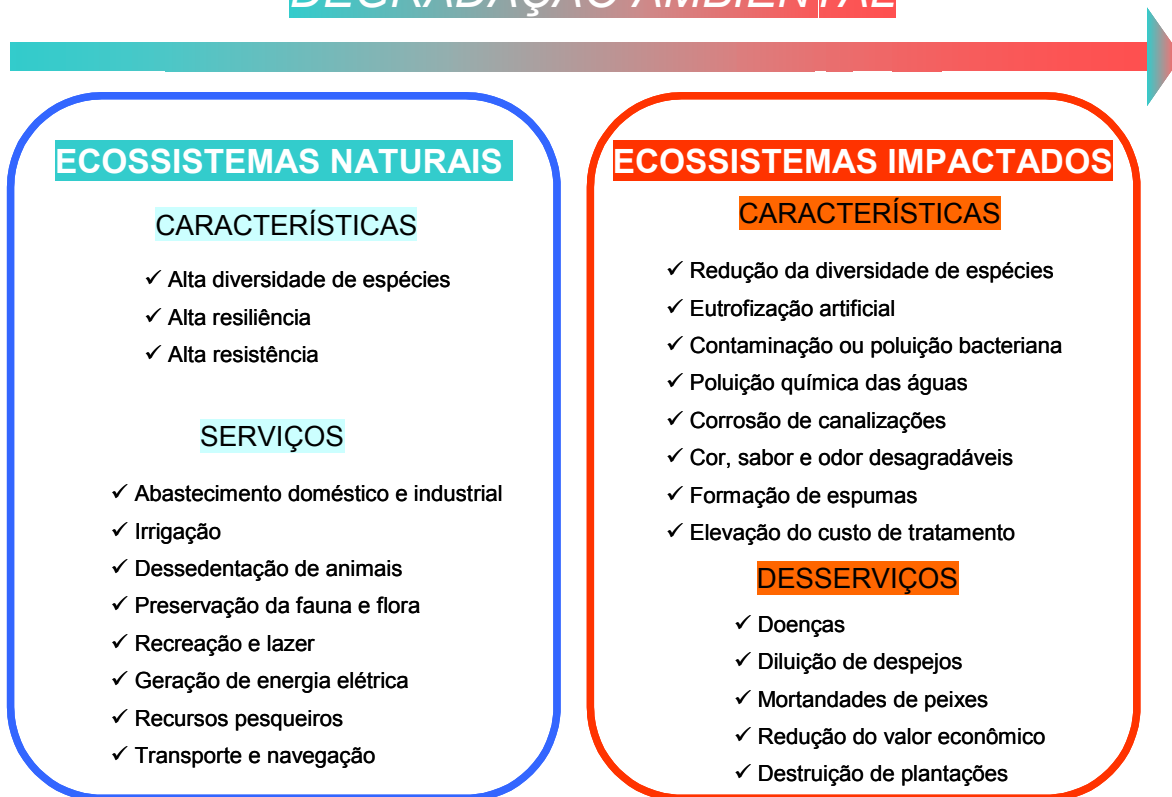


Figura 3: Quadro esquemático das conseqüências da degradação ambiental a partir das características e serviços de ecossistemas naturais e impactados.

Tabela 1: Principais tipos de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos brasileiros.

Tipos de Impactos Ambientais	Descrição
Hidrológicos	Mudanças no nível da água, assoreamento do curso natural dos rios e volume de aquíferos (drenagem, diminuição do lençol freático, mudanças globais do clima).
Condições de Cobertura Vegetal	Mudanças na cobertura e densidade de plantas, tanto natural quanto causada por fatores antrópicos (queimadas, pastoreio, aplicações de herbicidas).
Salinidade	Mudanças nos teores de sólidos totais dissolvidos na coluna d'água, solos, sedimentos, de origem natural ou antrópica.
Sedimentação e Turbidez	Mudanças físicas no substrato de fundo e/ou mudanças na transparência da água e penetração de luz causada pelo carreamento ou ressuspensão de matéria orgânica ou (especialmente) inorgânica, adicionada de fontes naturais ou fatores antrópicos (p.ex. erosão das margens).
Aumento da Carga de Nutrientes e Déficit de Oxigênio (Anoxia)	Aumento da disponibilidade de fósforo e nitrogênio em concentrações maiores do que as naturais, normalmente devido à introdução de esgotos domésticos sem tratamento, aplicação de fertilizantes, resultando no processo de eutrofização artificial e subsequentes condições de anoxia na coluna d'água e sedimentos.
Contaminação por Pesticidas e Metais Pesados	Ocorrência de inseticidas, herbicidas, fungicidas, metais pesados (p.ex. mercúrio) em níveis superiores aos naturais, normalmente devido à lixiviação de áreas drenadas, irrigadas ou solos.

Quadro 1: Vantagens da adoção de um Programa de Biomonitoramento Ambiental (US-EPA, 2003):

- ✓ As comunidades biológicas refletem a integridade ecológica (p.ex. condições físicas, químicas e biológicas).
- ✓ As comunidades biológicas refletem os efeitos de diferentes fatores ambientais estressantes, oferecendo portanto uma medida integradora dos impactos ambientais decorrentes de lançamentos de esgotos domésticos, efluentes industriais e agro-pastoris.
- ✓ Um programa de monitoramento de comunidades biológicas pode ser relativamente de baixo custo, quando comparado aos custos da avaliação de poluentes tóxicos.
- ✓ O estado das comunidades biológicas é de interesse direto dos cidadãos e representa uma medida eficiente da saúde de ecossistemas aquáticos.
- ✓ Em monitoramentos de longo prazo, mudanças na qualidade da água são facilmente diagnosticáveis, utilizando macroinvertebrados bentônicos (insetos aquáticos, moluscos, anelídeos) e peixes.

Quadro 2: Etapas de desenvolvimento de um Programa de Biomonitoramento Ambiental.

- 1- Definição e calibração de indicadores biológicos nos vários tipos de ecossistemas;
- 2- Planejamento e execução de amostragens de indicadores biológicos (p.ex. para estabelecer e caracterizar locais de coleta e condições naturais de referência);
- 3- Desenvolvimento e calibração de parâmetros de medição;
- 4- Montagem e avaliação de banco de dados com informações históricas de parâmetros ambientais, para inferir sobre efeitos de agentes impactantes em diferentes ecossistemas;
- 5- Análise e interpretação de dados coletados para subsidiar as ações de conservação e manejo a serem implementadas pelas agências de controle ambiental e pelos tomadores de decisão.