

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
Diversidade e Manejo de Vida Silvestre
NÍVEL MESTRADO

**UTILIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS NA
AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM ARROIOS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

LEANDRO BIEGER

SÃO LEOPOLDO

2009

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
Diversidade e Manejo de Vida Silvestre
NÍVEL MESTRADO

**UTILIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS NA
AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM ARROIOS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

LEANDRO BIEGER

Orientador: Dr. LEONARDO MALTCHIK GARCIA

SÃO LEOPOLDO

2009

Leandro Bieger

**UTILIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS NA
AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM ARROIOS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia, área de concentração, diversidade e manejo de vida silvestre da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Orientador: Leonardo Maltchik Garcia

São Leopoldo

2009

Ficha Catalográfica

B586u Bieger, Leandro
Utilização da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação de impactos ambientais em arroios da bacia hidrográfica do dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil. / por Leandro Bieger. – 2008.
55 f. : il. ; 30cm.
Com: artigo “Utilização da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação de impactos ambientais em arroios da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil”.
Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, 2008.
“Orientação: Prof. Dr. Leonardo Maltchik Garcia, Ciências da Saúde”.
1. Macroinvertebrado bentônico. 2. Macroinvertebrado - Biologia aquática. 3. Bentos - Hidrobiologia. 4. Ecossistema aquático - Bacia - Rio dos Sinos. 5. Biomonitoramento. I. Título.
CDU 574.587

Catálogo na Publicação:
Bibliotecária Camila Rodrigues Quaresma - CRB 10/1790

ÍNDICE

Resumo	07
Abstract	08
Apresentação	09

Introdução

<i>Biomonitoramento de recursos hídricos</i>	10
<i>Ecologia de macroinvertebrados Bentônicos</i>	14

Referências Bibliográficas	18
---	----

Artigo

<i>Utilização da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação de impactos ambientais em arroios da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil</i>	25
---	----

Dedico esta pesquisa às pessoas que nunca duvidaram de minha capacidade e que sempre me apoiaram em todos os sentidos. Pai, mãe, mana e mano.....essa é pra vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu amigo e professor, Dr. Milton Norberto Streider, pela orientação no primeiro ano de pesquisa, por todo apoio, confiança e amizade, nos melhores e piores momentos destes dois anos de trabalho. A você minha gratidão.

Ao orientador, amigo e professor Dr. Leonardo Maltchick, pela confiança e por acreditar e dar continuidade a este trabalho. A você toda a minha gratidão.

Agradeço a minha amada família, meu pai Flávio, minha mãe Lucena e aos meus irmãos, Janine e Andrei, meus quatro fortes alicerces, por todo amor, carinho, dedicação e por sempre ao meu lado, acreditando no caminho profissional que escolhi, nos melhores e piores momentos. A vocês o meu eterno amor.

Agradeço as amigas do Laboratório de Entomologia da Unisinos, que estiveram envolvidas com este trabalho, em especial a amiga e colega Aline Carvalho, pela amizade e carinho e por compartilhar de todas as dores e alegrias nestes dois anos de companheirismo. Em especial, agradeço também as amigas Íris Froés, Eloíse Garcez, Alexandra Borsari, Angélica Franchescci, Juliana Weber,.....nunca esquecerei vocês.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia e Conservação de Ecossistemas Aquáticos da Unisinos, Ana Silvia Rolon e Cristina Stenert por todas as valiosas dúvidas resolvidas e auxílios ao longo desta caminhada.

Agradeço aos amigos que cativei durante estes dois anos de pesquisa, em especial os amigos Tiago DeMarchi, Mateus Leal e Patrícia Costa, por tornarem melhor esta caminhada. Grande abraço a todos vocês.

Agradeço, em especial, aos professores Carlos Fonseca e Gislene Ganade, por todas as “ajudinhas” e auxílios.

Agradeço a Petrobras Ambiental e ao Projeto Dourado e ao Banco Santander, por terem me possibilitado a realização desta dissertação de mestrado através da concessão de bolsas de estudos.

RESUMO

Os ecossistemas aquáticos sofrem grandes pressões das populações humanas. Agricultura, industrialização e crescimento descontrolado estão entre as principais causas da destruição dos recursos hídricos nos dias de hoje, sendo necessário o seu monitoramento para futuros projetos de recuperação e restauração. O principal objetivo desta dissertação foi avaliar a qualidade das águas de nove arroios da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos (Rio Grande do Sul, Brasil), com três pontos de coleta por arroio, utilizando a comunidade de macroinvertebrados bentônicos como indicadores biológicos, através de índices bióticos. Os arroios foram previamente estudados pelo Projeto Monalisa que, em 2006, avaliou diferentes tipos de impactos ambientais. Os macroinvertebrados foram coletados através de varreduras no sedimento e na coluna d'água utilizando um "puçá aquático", tentando atingir um mínimo de 100 indivíduos. Nos locais de coleta de macroinvertebrados foram registradas variáveis físicas e químicas da água. A qualidade geral das águas da bacia variou de Excelente a Ruim, diminuindo no sentido superior inferior da bacia. Não ocorreu diferença de qualidade entre os trechos dos arroios. Porém, nota-se melhor qualidade nos trechos superiores dos arroios em relação a seus trechos médios e inferiores. Apenas para a proporção EPT houve diferença de qualidade das águas entre os dois períodos de coleta (ANOVA, $p=0,001$), sendo a melhor qualidade registrada durante o verão. A qualidade de águas assinada pelos índices bióticos está correlacionada com os impactos ambientais, avaliados através do Índice Monalisa. Dos parâmetros físicos e químicos, apenas Oxigênio Saturado não teve influencia sobre os índices bióticos. A análise dos resultados nos permite concluir que os índices bióticos utilizados neste estudo apresentam forte correlação com a qualidade da água e refletem as mudanças ambientais ocorridas no gradiente longitudinal da bacia hidrográfica.

ABSTRACT

Aquatic ecosystems suffer great pressures from human populations. Agriculture, industrialization and uncontrolled growth are among the today's main causes of destruction of the water resources, being the monitoring needed for future projects of rehabilitation and restoration. The main objective of this dissertation was to evaluate the water quality of nine streams of the Sinos River basin (Rio Grande do Sul State, Brazil), with three sampling sites per stream, using the community of benthic macroinvertebrates as biological indicators, using biotic indices. The streams were previously studied by Monalisa Project which, in 2006, examined different types of environmental impacts. The macroinvertebrates were collected by sweeps in the sediment and the water column using a "frame dip-net," trying to achieve a minimum of 100 individuals. In the macroinvertebrates collection sites were recorded physical and chemical variables on water. The overall quality of the basin's waters ranged from "Excellent" to "Poor", reducing through the top-down direction. There was no difference in quality between the sections of the streams. However, better levels of quality in the upper stretches are noticed in relation to its middle and lower stretches. Between the two collecting periods, there was a quality difference only for the EPT proportion (ANOVA, $p=0,001$), being the best quality registered in the summer. The water quality assigned by the biotic indices is correlated with the environmental impacts, measured through Monalisa Index. About physical and chemical parameters, only Saturated Oxygen had no effect over the biotic indices. The results analysis lead us to conclude that there is a strong correlation between the biotic indices and the water quality and reflect the environmental changes in the river basin's longitudinal gradient.

APRESENTAÇÃO

A referida dissertação teve por objetivo principal avaliar a qualidade das águas de nove arroios da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos (Rio Grande do Sul, Brasil), utilizando a comunidade de macroinvertebrados bentônicos como indicadores biológicos e está elaborada de forma a facilitar a publicação dos resultados obtidos através deste estudo. Inicialmente apresenta-se uma introdução geral, onde são apresentados os principais trabalhos sobre o biomonitoramento de recursos hídricos e sobre a ecologia de macroinvertebrados bentônicos. A seguir, os resultados da pesquisa estão apresentados na forma de artigo científico, que após análise e sugestões da banca examinadora, pretende-se publicá-los em revista especializada.

INTRODUÇÃO

Biomonitoramento de Recursos Hídricos

Os ecossistemas aquáticos estão entre os mais ameaçados tipos de habitats no mundo. Crescimento populacional, desenvolvimento econômico e aumento das áreas agricultáveis deram um aumento drástico no consumo de água a partir do século passado. Ao entrarmos no século XXI, o manejo dos recursos hídricos surgiu como um dos maiores desafios da humanidade: proteger e recuperar os ecossistemas aquáticos (GLEIK, 2000; MOKAYA & MATHOOKO, 2004; HERING *et al.*, 2004).

Os enfoques dos estudos concernentes à avaliação da qualidade da água podem ser divididos em duas categorias. Enquanto a primeira categoria utiliza os métodos físicos e químicos, a segunda considera os métodos biológicos na avaliação (LOBO *et al.*, 2002). Desde a década de 70, pesquisadores e gestores de recursos hídricos da Europa Ocidental e América do Norte argumentaram que as metodologias tradicionais de classificação de água, baseadas em características físicas e químicas e bacteriológicas não eram suficientes para atender aos múltiplos usos da água (ARIAS *et al.*, 2007).

A partir disto, a biota aquática começou a ser utilizada como uma ferramenta importante na busca de informações sobre a integridade dos ecossistemas e a qualidade do ambiente. As comunidades biológicas respondem às características ecológicas do meio, fornecendo uma ampla medida da combinação de impactos (MORETTI & CALLISTO, 2005; PAGGI *et al.*, 2006) e da alteração das características e funcionalidades biológicas dos ecossistemas (GIBSON *et al.*, 1996). Este entendimento das interações das comunidades aquáticas com os meios físico e químico fornece um histórico das condições do meio (KARR, 1999).

Um organismo não pode sobreviver indefinidamente em um ambiente onde seus requerimentos nutricionais, físicos e químicos não sejam satisfeitos. Assim, a presença de uma espécie em particular, especialmente se esta é abundante, indica que seus requerimentos ambientais estão sendo supridos. No entanto, sua ausência não necessariamente indica o contrário – uma espécie pode, por exemplo, ser competitivamente excluída de um habitat particular por outra espécie ou simplesmente apresentar distribuição restrita. Contudo, dentro de certas limitações, a presença, ausência ou abundância relativa das espécies podem ser usadas como indicadores de qualidade ambiental (ABEL, 2002).

Neste contexto, bioindicadores são definidos como qualquer resposta a um contaminante ambiental a nível individual, medidos no organismo ou na matriz biológica, indicando um desvio do status normal que não pode ser detectado no organismo intacto (ARIAS *et al.*, 2007).

O uso de organismos como indicadores se baseia no pressuposto de que quando os organismos são submetidos a condições adversas, ou os organismos morrem ou se adaptam (MORETTI & CALLISTO, 2005). Como os rios estão sujeitos a inúmeras perturbações, a biota aquática reage a esses estímulos, sejam eles naturais ou antropogênicos (BUSS *et al.*, 2003). Assim, biomonitoramento é o uso sistemático das respostas de organismos vivos na avaliação das mudanças ocorridas no ambiente, com o objetivo de utilizar estas informações em um programa de controle de qualidade (ROSENBERG & RESH, 1993).

O monitoramento biológico é o mais apropriado para avaliar a poluição de ecossistemas aquáticos do que a tradicional abordagem físico-química (THIÉBAUT *et al.*, 2006). Enquanto dados físicos e químicos fornecem um indicador pontual das condições dos ecossistemas, mostrando apenas o momento da coleta, os dados biológicos fornecem um indicador cumulativo das condições ao longo do tempo (METCALFE, 1989). As comunidades biológicas refletem a integridade biológica geral, incluindo as físicas e químicas (KARR & CHU, 1999). A biota residente nos corpos d'água são monitores naturais da qualidade ambiental e podem revelar efeitos episódicos, bem como a poluição acumulativa e alterações de habitats (BARBOUR *et al.*, 1996).

Macrófitas, algas, peixes, protozoários e outros grupos de organismos estão sendo recomendados para avaliar a qualidade das águas (MERRITT & CUMMINS, 1996). Atualmente, pesquisadores têm dado mais atenção a três grupos particulares para serem usados em programas de biomonitoramento: peixes, macroinvertebrados bentônicos e algas (muitas vezes limitado a diatomáceas) (RESH, 2008). Dentre os organismos utilizados como bioindicadores destacam-se os macroinvertebrados bentônicos (MORETTI & CALLISTO, 2005).

Em estudo recente, RESH (2008) realizou um levantamento para saber quais os grupos de organismos mais usados em programas de biomonitoramento em artigos publicados, sites da Internet e livros. Os mais usados foram macroinvertebrados bentônicos (42%), algas (22%), peixes (19%) e zooplâncton (9%). Em outro estudo, RESH (2007) examinou 50 recentes estudos de biomonitoramento conduzidos em países em desenvolvimento e encontrou que 34 desses

países usaram macroinvertebrados bentônicos, nove envolvendo peixes, três algas e dois com macrófitas aquáticas.

Segundo MAIA & MARTOS (2001), a utilização da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em avaliações das condições locais da qualidade da água se justifica por:

- (a) Serem abundantes em todos os tipos de ecossistemas aquáticos, vivendo sob ou sobre o substrato;
- (b) Serem facilmente coletados com equipamentos relativamente baratos;
- (c) Sua rápida identificação;
- (d) Geralmente permanecem em uma área mais restrita por causa de sua baixa mobilidade e preferência de habitat, permitindo uma análise espacial eficiente dos efeitos de poluentes ou perturbações físicas do meio;
- (e) No decorrer de seu ciclo de vida eles estão continuamente sujeitos a todo o rigor do ambiente local e;
- (f) Exibirem ampla variedade de tolerância a vários graus e tipos de impactos.

Algumas métricas são utilizadas para avaliar a qualidade de águas utilizando a comunidade de macroinvertebrados, entre elas, a riqueza de táxons, que é o número de táxons que compõe a comunidade amostrada. A medida da riqueza de indivíduos das ordens EPT, i.e., riqueza das ordens Ephemeroptera (mayflies), Plecoptera (stoneflies) e Trichoptera (caddisflies) é baseada na idéia de que os táxons destas três ordens possuem os organismos mais sensíveis à poluição, sendo indicadores de ambientes de baixo impacto antrópico. Por outro lado, a família Chironomidae (Diptera) pode indicar ambientes submetidos à perturbações severas. Medidas de enumeração também são usadas, como a razão entre os a abundância de indivíduos das ordens EPT e abundância de indivíduos da família Chironomidae. A idéia por trás do uso de enumeração é que certos estressores aumentam ou diminuem o número total de indivíduos destes táxons (MERRIT & CUMMINS, 1996; TUDORANCEA & TUDORANCEA, 2002).

Outras formas de se avaliar a qualidade de água é utilizando a comunidade bentônica através de Índices Bióticos (DURAN, 2006), que nada mais é que expressões numéricas que combinam uma medida quantitativa da diversidade das espécies com informações qualitativas da sensibilidade ecológica dos indivíduos ou táxons (CZERNIAWSKA-KUSZA, 2005), ou seja, os

índices bióticos estabelecem a alteração, em termos de tolerância ou sensibilidade relativa, dos organismos presentes em um sistema com uma poluição específica.

Estes índices são ferramentas de primeira grandeza para a avaliação da qualidade da água, uma vez que os parâmetros de referência constantes nas legislações são muitas vezes arbitrários, não levando em conta as diferentes capacidades de resiliência dos diversos ambientes (ALBATERCEDOR, 1996).

Programas de monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos começaram no início do século 20, na Alemanha, com a criação do Sistema Sapróbico proposto por KOLKWITZ & MARSSON (1908, 1909), que desenvolveram os conceitos básicos para os métodos de biomonitoramento. No final da década de 80, muitos índices bióticos baseados em sistema de “scores”, como o Biotic Condition Index - BCI (WINGET & MANGUN, 1979), Biological Monitoring Working Party score system - BMWP (ARMITAGE *et al.*, 1983), Family Biotic Index - FBI (HILSENHOFF, 1987) e Índice Biótico Esteso – IBE (GHETTI, 1997) foram desenvolvidos. Neste sistema de scores, cada táxon (geralmente família, gênero e até espécie) da amostra recebe um valor de tolerância à poluição orgânica (variável de índice para índice) que será usado para expressar numericamente o grau de poluição da água.

No Brasil, os primeiros estudos sobre os organismos bentônicos datam da década de 30. A partir da década de 50, Harold Sioli desenvolveu importantes pesquisas na Amazônia, que posteriormente se tornou um importante centro de pesquisas limnológica. Na década de 70, formaram-se os principais grupos de estudos limnológicos do país, e a partir daí houve uma expansão gradativa no estudo dos invertebrados aquáticos (ESTEVES, 1998).

Desde a última década, instituições de pesquisa e agências de proteção ambiental têm desenvolvido estudos com o uso da comunidade de macroinvertebrados bentônicos para avaliar as condições ambientais de arroios e rios (BAPTISTA *et al.*, 2007). No Brasil pode-se citar JUNQUEIRA & CAMPOS (1998), JUNQUEIRA *et al.* (2000), BUSS (2001), ARAÚJO (2004), SILVEIRA *et al.* (2005), CALLISTO *et al.* (2005); MORETTI & CALLISTO (2005). No Brasil, o índice biótico BMWP foi adaptado para a bacia hidrográfica do Rio das Velhas, MG (JUNQUEIRA & CAMPOS, 1998) e para a bacia do Rio Meia Ponte, GO (MONTEIRO *et al.*, 2008).

No mundo, os trabalhos foram desenvolvidos em várias partes como Tailândia (THORNE & WILLIAMS, 1997), Polônia (DURAN & SUICMEZ, 2007), Itália (BALESTRINI *et al.*, 2004), Grã Bretanha (PARR & MASON, 2003), Índia (De ZWART & TRIVEDI, 1994) entre tantos outros.

Desde então, novas abordagens em biomonitoramento estão sendo desenvolvidas. No Reino Unido, Austrália e Canadá têm usado em seus programas de biomonitoramento uma abordagem baseada na classificação de sites *a posteriori*, como o RIVPACS (CLARKE *et al.*, 2003), o AusRivAs (WRIGHT, 1995; SLOANE & NORRIS, 2003) e o BEAST (REYNOLDS *et al.*, 1995). Nos Estados Unidos da América do Norte, pesquisadores vêm desenvolvendo índices multimétricos usando peixes, perifíton e a comunidade de macroinvertebrados, numa classificação *a priori* dos locais de coleta. No Brasil, o primeiro índice multimétrico usando macroinvertebrados bentônicos foi desenvolvido por BUSS (2001) e mais recentemente por EGLER (2002), SILVEIRA *et al.* (2005) e BAPTISTA *et al.* (2007).

Outra forma de avaliar a qualidade do ambiente utilizando a comunidade bentônica é através de seus grupos tróficos funcionais, constituindo numa boa ferramenta na avaliação da disponibilidade de recursos tróficos e seus usos em ecossistemas lóticos. Utilizando-se desta abordagem, VANNOTE *et al.* (1980) desenvolveram o “Conceito do Contínuo de Rios”, que estabelece que das cabeceiras para a foz, os rios apresentam um gradiente contínuo de condições físicas e químicas, propiciando uma série de respostas da biota, resultando em ajustes contínuos das comunidades, consistentes com os padrões de carga, transporte, utilização e estocagem de matéria orgânica ao longo do rio. Desta forma, as comunidades também formam um contínuo, com a finalidade de processar a energia com a máxima eficiência. O Caráter indicador de um grupo funcional será mais ou menos marcante na medida em que as espécies que o compõem possam evidenciar modificações de outras comunidades ou de processos essenciais do ecossistema (GARAY, 2001).

Ecologia de Macroinvertebrados Bentônicos

Os macroinvertebrados bentônicos reúnem indivíduos de diversas ordens como platelmintos, anelídeos, moluscos, crustáceos e principalmente insetos. Estes organismos podem

ser vistos a olho nu e são retidos em malha que varia de 200 a 500 μ m (MARGALEF, 1983; ESTEVES, 1998). Estes organismos habitam o sedimento, a coluna d'água, as raízes de plantas aquáticas, pedras, galhos e folhas em ecossistemas aquáticos de água doce, salobra e marinha durante todo ou parte do seu ciclo de vida (APHA, 1989; ESTEVES, 1998).

A comunidade de macroinvertebrados é um importante componente em ecossistemas aquáticos continentais, sendo fundamental para a dinâmica de nutrientes e para a transformação da matéria e energia de um ecossistema (CALLISTO & ESTEVES, 1995).

A comunidade de macroinvertebrados participa de vários processos, entre eles:

(a) filtra, fragmenta e raspa o alimento no sedimento, na vegetação ou na coluna d'água, assimilando e convertendo microorganismos e tecido vegetal em biomassa disponível para outros organismos aquáticos;

(b) fragmentam as partículas de matéria orgânica suspensa na água, facilitando o processo de decomposição;

(c) liberam nutrientes do sedimento para a coluna d'água, através de atividade mecânica (biorrevolvimento), especialmente na sua superfície do sedimento, facilitando a ciclagem de nutrientes;

(d) constroem canais que servem de abrigos e para sua alimentação, oxigenando o substrato e facilitando a ação de decomposição aeróbia da matéria orgânica;

(e) apresentam um importante papel na dinâmica trófica dos ecossistemas aquáticos, constituindo o elo entre os produtores e os consumidores (HORNE & GOLDMAN, 1994; ALLAN, 1995; ALLAN & JOHNSON, 1997; ESTEVES, 1998).

As estratégias alimentares são características típicas que refletem a adaptação das espécies e elas podem formar parte de uma medida especial entre comunidades que diferem em composição taxonômica (STATZNER *et al.*, 2001).

As principais categorias alimentares em ecossistemas aquáticos lóticos são: 1) matéria orgânica particulada grossa – “MOPG”, formada por fragmentos vegetais; 2) matéria orgânica particulada fina – “MOPF”, geralmente composta por nutrientes dissolvidos na água, detritos, incluindo aqueles criados pela redução física e biológica da matéria orgânica particulada grossa; 3) perfiton, formado por algas aderidas em algum substrato ou material orgânico/inorgânico e; 4)

presas, que constituem todos aqueles organismos que servem de alimento aos predadores (MERRITT & CUMMINS, 1996; CALLISTO & GONÇALVES JÚNIOR, 2002).

A análise trófica funcional da comunidade de macroinvertebrados aquáticos é baseada em mecanismos morfo-comportamentais dos organismos e foi descrita primeiramente por CUMMINS (1973). Os estudos baseados no alimento digerido revelaram que, essencialmente, todos os insetos aquáticos são onívoros, pelo menos em seus primeiros estágios de desenvolvimento. No entanto, espécies em seus últimos estágios de desenvolvimento tendem a apresentar maior especificidade nos seus requerimentos nutricionais, permitindo a classificação de macroinvertebrados em cinco grupos tróficos funcionais:

- Fragmentadores (“Shredders”): alimentam-se de tecido vegetal, podendo ser herbívoros ou detritívoros. As famílias Curculionidae (Coleoptera) e Tipulidae (Diptera) são exemplos deste grupo trófico;

- Coletores (“Collectors”): alimentam-se de matéria orgânica particulada fina, podendo ser detritívoros ou filtradores. As classes Oligochaeta e Bivalvia são exemplos deste grupo trófico;

- Raspadores (“Scrapers”): alimentam-se de perifíton aderido à superfície orgânica ou mineral, sendo a Classe Gastropoda e a família Thaumaleidae (Diptera) representantes deste grupo trófico;

- Predadores (“Predators/Engulfers”): alimentam-se de outros invertebrados aquáticos ou de pequenos vertebrados (peixes e anfíbios), engolindo a presa inteira ou aos pedaços. As Ordens Odonata e Hemiptera são exemplos representativos deste grupo trófico.

- Parasitas: alimentam-se interna ou externamente no corpo de outros organismos vivos. Os representantes da Classe Hirudinea são exemplos de parasitas.

Algumas famílias de macroinvertebrados podem ter representantes de diferentes grupos tróficos, como é o caso das larvas da família Chironomidae (Diptera), que apresentam ampla variedade de guildas alimentares, podendo ser coletores, raspadores, fragmentadores e predadores e consumindo uma ampla variedade de recursos (algas, detritos, macrófitas, animais, etc) (TRIVINHO-STRIXINO & STRIXINO, 1995; ROQUE *et al.*, 2003) e da família Leptoceridae (Trichoptera), que tem representantes coletores, fragmentadores e predadores (MERRITT & CUMMINS, 1996).

Grupos funcionais de macroinvertebrados constituem uma boa ferramenta na avaliação da disponibilidade de recursos tróficos e seus usos em ecossistemas lóticos. Os diferentes grupos funcionais refletem mudanças no tipo e localização dos recursos alimentares de acordo com a ordem do córrego, de forma que ocorrem alterações na dominância (em biomassa) destes grupos – fragmentadores, coletores, raspadores, predadores ao longo do rio (CUMMINS & KLUG, 1979; MIHUC, 1997; CALLISTO & ESTEVES, 1998; VANNOTE *et al.*, 1980).

Vários fatores são importantes na determinação da comunidade dos macroinvertebrados. A integridade da comunidade biológica em ecossistemas aquáticos é determinada por estes fatores que devem estar em equilíbrio. Estes fatores incluem características físicas e químicas da águas (velocidade da corrente, pH, temperatura, oxigênio e etc), componentes biológicos (competição e reprodução), os tipos de substratos (rochas, seixos, madeira, vegetação e etc), sedimento (orgânico, arenoso, argiloso e etc) heterogeneidade ambiental (preservação da mata ciliar, qualidade do solo, uso da terra e etc), fluxo de energia (quantidade e qualidade de matéria orgânica, produção primária e secundária) e clima (WARD, 1992; ESTEVES, 1998).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, P.D. 2002. **Water Pollution**. 2. ed. Taylor & Francis, London. 278pp.
- ALBA-TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. **Actas del IV simposio del agua en Andalucía (SIAGA) 2**: 203-213.
- ALLAN, J.D. 1995. **Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters**. Chapman & Hall, London, 388p.
- ALLAN, J.D. & JOHNSON, L.B. 1997. Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. **Freshwater Biology 37**: 107–111.
- APHA, AWWA, WPCF. 1989. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 17 ed. American Public Health Association, Washington DC.
- ARAÚJO, A.H. 2004. **Estudo das comunidades de Trichoptera (insecta) em riachos de quatro áreas de mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro**. 104f. Tese (Doutorado). Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro-RJ.
- ARIAS, A.R.L.; BUSS, D.F.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO, A.F.; FREIRE, M.M.; EGLER, M.; MUGNAI, R. & BAPTISTA, D.F. 2007. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência e saúde coletiva 12** (1): 61-72.
- ARMITAGE, P.D.; MOSS, D.; WRIGHT, J.F. & FURSE, M.T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. **Water Research 17**: 333-347.
- BALESTRINI, R.; CAZZOLA, M. & BUFFAGNI, A. 2004. Characterising hydromorphological features of selectes Italian rivers: a comparative application of environmental indices. **Hydrobiologia 516**: 365-379.
- BAPTISTA, D.F.; BUSS, D.F.; EGLER, M; GIOBANELLI, A; SILVEIRA, M.P. & NESSIMIAN, J.L. 2007. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest stream at Rio de Janeiro State, Brazil. **Hydrobiologia 575**: 83-94.
- BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; GRIFFITH, G.E.; FRYDENBORG, R.; MCCARRON, E.; WHITE, J.S. & BASTIAN, M.L. 1996. A framework for biological criteria for

Florida streams using benthic macroinvertebrate. **Journal of the North American Benthological Society** **15**: 185-211.

BUSS, D.F. 2001. **Utilizando macroinvertebrados no desenvolvimento de um procedimento integrado de avaliação da qualidade da água de rios**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.

BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F. & NESSIMIAN, J.L. 2003. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Caderno de Saúde Pública** **19** (2): 564-473.

CALLISTO, M. & ESTEVES, F.A. 1995. Distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita, Lago Batata (Pará, Brasil). **Oecologia Brasiliensis** **1**: 281-291.

CALLISTO, M. & ESTEVES, F.A. 1998. Categorização funcional dos macroinvertebrados bentônicos em quatro ecossistemas lóticos sob influencia das atividades de uma mineração de bauxita na amazônia central (Brasil). **Oecologia Brasiliensis** **5**: 223-234.

CALLISTO, M. & GONÇALVES JÚNIOR, J.F. 2002. A vida nas águas das montanhas. **Ciência Hoje** **31** (182): 68-71.

CALLISTO, M.; GOULART, M.; MEDEIROS, A.O.; MORENO, P. & ROSA, C. A. 2005. Diversity assessment of benthic macroinvertebrates, yeasts and microbiological indicators along a longitudinal gradient in Serra do Cipó, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** **64** (4): 743-755.

CLARKE, R.T.; WRIGHT, J.F. & FURSE, M.T. 2003. RIVPACS models for predicting the expected macroinvertebrates fauna and assessing the ecological quality of rivers. **Ecological Modeling** **160**: 219-233.

CUMMINS, K.W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. **Annual Review of Entomology** **18**: 183-206.

CUMMINS, K.W. & KLUG, M.J. 1979. Feeding ecology on stream invertebrates. **Annual Review Of Ecology And Systematics** **10**: 147-172.

CZERNIAWSKA-KUSZA, I. 2005. Comparing modified biological monitoring working party score system and several biological indices based on macroinvertebrates for water-quality assessment. **Limnologica** **35**: 169-176.

DE ZWART, D. & TRIVEDI, R.C. 1994. **Manual on integrated water quality evaluation**. Report 802023003, National Institute of public health and environmental protection (RIVM) Bilthoven, Netherlands.

DURAN, M. 2006. Monitoring water quality using benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters of Behzat stream in Turkey. **Polish Journal of Environmental studies** **15** (5): 709-717.

DURAN, M. & SUICMEZ, M. 2007. Utilization of both benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters for evaluating water quality of the stream Cekerek (Tokat, Turkey). **Journal of Environmental Biology** **28** (2): 231-236.

EGLER, M. 2002. **Utilizando a fauna de macroinvertebrados como indicadores de integridade ambiental em uma área de agricultura intensiva em Nova Friburgo**. Dissertação (mestrado). Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, RJ, 103 pp.

ESTEVES, F.A. 1998. **Fundamentos de Limnologia**. 2ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ.

GARAY, I. 2001. Avaliação do status da biodiversidade a nível do ecossistema, p399-411 *In*: GARAY, I & DIAS, B. (eds). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Editora Vozes, Rio de Janeiro, RJ. 430pp.

GHETTI, P.F. 1997. **Indice Biotico Esteso (I.B.E.): I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti**. Província Autônoma di Trento, 222p.

GIBSON, G.R.; BARBOUR, M.T.; STIBLING, J.B.; GERRITSEN, J. & KARR, J.R. 1996. **Biological criteria: The technical guidance for stream and small river** (revised edition). U.S Environmental Protection Agency, office of water, Washington D.C. EPA – 822 – B – 96001, 339p.

GLEIK, P.H. 2000. The changing water paradigm: A look at twenty-first century water resources development. **Water International 25**: 127–138.

HERING, D.; BÖHMER, R.; HAASE, P. & SCHAUMBURG, J. 2004. Assessing stream in Germany with benthic invertebrates: selection of candidate metrics. **Limnologia 34**: 398-415.

HILSENHOFF, W.L. 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. **Great Lakes Entomology 20**: 31-39.

HORNE, A.J. & GOLDMAN, C.R. 1994. **Lymnology**. 2 ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 480pp.

JUNQUEIRA, M.V. & CAMPOS, S.C.M. 1998. Adaptation of the BMWP for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliense 10** (2): 125-135.

JUNQUEIRA, M.V.; AMARANTE, M.C.; DIAS, C.F.S. & FRANÇA, E.S. 2000. Biomonitoramento da qualidade da bacia do Alto Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados. **Acta Limnologica Brasiliense 12** (1): 73-87.

KARR, J.R. 1999. Defining and measuring river health. **Freshwater Biology 41**: 221-234.

KARR, J.R. & CHU, E.W. 1999. **Restoring life in running water: better biological monitoring**. Covelo: Island Press, 206p.

KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. 1908. Ökologie der pflanzlichen Saprobien. Berichte der deutsche botanischen. **Gesellschaft 26**: 505-519.

KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. 1909. Ökologie der tieristischen Saprobien. Beiträge zur lehre Von der biologischen Gewässerbeurteilung. International Revue der gesamten. **Hydrobiologie und Hydrographie 2**: 126-144.

LOBO, E.A.; CALLEGARO, V.L. & BENDER, P. 2002 **Utilização de algas diatomáceas epilíticas como indicadoras da qualidade da água em rios e arroios da Região Hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil**. EDUNISC, Santa Cruz do Sul, Brasil. 127 pp.

MAIA, N. & MARTOS, H. (eds.). 2001 **Indicadores Ambientais: Conceitos e Aplicações**. Educ – Editora da Puc, São Paulo, 285pp.

- MARGALEF, R. 1983. **Limnología**. Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- MERRITT, R.W. & CUMMINS, K.W. 1996. **An Introduction to the aquatic insects of north America**. 2 ed. Kendall/Hunt Publishing Company, 862pp.
- METCALFE, J.L. 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrates communities: history and present status in Europe. **Environmental Pollution** **60**: 101-139
- MIHUC, T.B. 1997. The functional trophic role of lotic primary consumers: generalist versus specialist strategies. **Freshwater Biology** **37**: 455-462.
- MOKAYA, S.K. & MATHOOKO, M.L. 2004. Influence of Anthropogenic activities on water quality of a tropical stream ecosystem. **African Journal of Ecology** **42**: 281-288.
- MORETTI, J.L. & CALLISTO, M. 2005. Biomonitoring of benthic macroinvertebrate in the middle Doce River watershed. **Acta Limnologica Brasiliensi** **17** (3): 268-282.
- MONTEIRO, T.R.; OLIVEIRA, L.G. & GODOY, B.S. 2008. Biomonitoramento da qualidade de água utilizando macroinvertebrados bentônicos: adaptação do índice biótico BMWP à bacia do Rio Meia Ponte-Go. **Oecologia Brasiliensis** **12** (3): 553-563.
- PAGGI, A.C.; OCÓN, C.; TANGORRA, M. & CAPÍTULO, A.R. 2006. Response of the zoobenthos community along the dispersion plume of a highly polluted stream in the receiving waters of a large river (Rio de la Plata, Argentina). **Hydrobiologia** **568**: 1-14.
- PARR, L.B. & MASON, C.F. 2003. Long-term trends in water quality and their impact on macroinvertebrate assemblage in eutrophic lowland rivers. **Water Research** **37**: 2969-2979.
- RESH, V.H. 2007. Multinational, freshwater biomonitoring programs in the developing world: Lessons learned from African and Southeast Asian river surveys. **Environmental Management** **39**: 737-748.
- RESH, V.H. 2008. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. **Environmental Monitoring Assessment** **138**: 131-138.
- REYNOLDS, T.B.; BAILEY, R.C.; DAY, K.E. & NORRIS, R.H. 1995. Biological guidelines for freshwater sediment based on Benthic Assessment of Sediment (the BEAST)

using a multivariate approach for predicting biological state. **Australian Journal of Ecology** **20**: 198-219.

ROQUE, F.O.; PEPINELLI, M.; FRAGOSO, E.N.; FERREIRA, W.A.; BARILLARI, P.R.; YOSHINAGA, M.Y.; STRIXINO, TRIVINHO-STRIXINO, S.; VERANI, N.F. & LIMA, M.I.S. 2003. Ecologia de macroinvertebrados, peixes e vegetação ripária de um córrego de primeira ordem em região de Cerrado do Estado de São Paulo (São Carlos, SP), p. 313-338, *in* Henry, R. (ed.). **Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos**. Rima Editora, São Carlos.

ROSENBERG, D.M. & RESH, V.H. 1993. **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates**. Chapman & Hall, London, 488 p.

SILVEIRA, M.P.; BUSS, D.F.; NESSIMIAN, J.L.; EGLER, M. & BAPTISTA, D.F. 2005. Application of biological measures for stream integrity assessment in south-east Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment** **101**: 117-128.

SLOANE, P.I.W. & NORRIS, R.H. 2003. Relationship of AUSRIVAS-based macroinvertebrate predictive model outputs to a metal pollution gradient. **Journal of the North American Benthological Society** **22**: 457-471.

STATZNER, B.; HILDREW, A.G. & RESH, V.H. 2001. Species traits and environmental constraints: Entomological research and the history of ecological theory. **Annual Review of Entomology** **46**: 291-316.

THIÉBAUT, G.; TIXIER, G.; GUÉROLD, F. & MULLER, S. 2006. Comparison of different biological indices for the assessment of the river quality: application to the upper river Moselle (France). **Hydrobiologia** **570**: 159-164.

THORNE, R.St.J. & WILLIAMS, W.P. 1997. The response of benthic macroinvertebrates in developing countries: a multimetric system of bioassessment. **Freshwater Biology** **37**: 671-686.

TRIVINHO-STRIXINO, S. & STRIXINO, G. 1995. **Larvas de Chironomidae (Diptera) do Estado de São Paulo – Guia de identificação e diagnose dos gêneros**. PPG-ERN/UFSCAR, São Carlos.

TUDORANCEA, M.M. & TUDORANCEA, C. 2002. Are chironomidae larvae bioindicators of the water quality in running waters under urban impact? **Verhandlungen der internationalen vereinigung für theoretische und angewandte limnologie** **28**: 417-421.

VANNOTE, R.L.; MISHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E. 1980. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** **37**: 130-137.

WARD, J.V. 1992. **Aquatic insects ecology** 1. *Biology and habitat*. 1st ed., Singapore, John Wiley & Sons, Inc., 438p.

WINGET, R.N. & MANGUN, F.A. 1979. **Biotic Condition Index: integrated biological, physical and chemical stream parameters for management**. US Forest Service, Intermountain region, Provo Utah.

WRIGHT, J.F. 1995. Development and use of a system for predicting the macroinvertebrate fauna of flowing waters. **Australian Journal Ecology** **20**: 181-197.