



Insetos Aquáticos

na Amazônia brasileira:
taxonomia, biologia e ecologia

Editores

Neusa Hamada

Jorge Luiz Nessimian

Ranyse Barbosa Querino

Insetos Aquáticos



na Amazônia brasileira:
taxonomia, biologia e ecologia

Editores

Neusa Hamada

Jorge Luiz Nessimian

Ranyse Barbosa Querino

Manaus, 2014

Insetos aquáticos no âmbito de instrumentos de gestão ambiental: caminhos ainda pouco explorados

Fabio de Oliveira Roque¹, Daniel Forsin Buss², Sara da Silva Abes³,
Maurício Stefanés⁴, Leandro Juen⁵, Tadeu Siqueira⁶

8

Apresentação

A manutenção da biodiversidade é fundamental para o planeta e para as sociedades humanas, fornecendo benefícios ambientais essenciais que podem ser classificados em quatro grupos: os de provisão (alimentos, água limpa, materiais, fibras, combustíveis, e outros), os de suporte (ciclagem de nutrientes, produção de oxigênio, sequestro de carbono, formação de solos, e outros), os de regulação (do clima, controle de enchentes, controle de doenças, e outros) e os culturais (valores estéticos, espirituais, religiosos, educacionais, de lazer, e outros) (Millennium Ecosystem Assessment 2005). A conservação da biodiversidade, portanto, é um dos grandes desafios da humanidade, não somente pelas dificuldades de compatibilização entre o uso racional dos recursos naturais e o desenvolvimento, mas também pela complexidade que o tema abrange.

A perda da biodiversidade envolve processos em diversas escalas, incluindo fatores locais, regionais e até aqueles em nível global. As causas estão relacionadas à conversão e perda de habitats, fragmentação da paisagem, mudanças climáticas, superexploração de recursos naturais, espécies invasoras e poluição (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Assim, o foco das estratégias de conservação da biodiversidade deve ser direcionado para evitar e/ou minimizar, prioritariamente, estas causas e pressões.

No caso dos insetos aquáticos, isto não é exceção, uma vez que além de sofrerem com os processos de modificação dos sistemas aquáticos, também recebem a influência de toda a paisagem do entorno (Wiens 2002). Muitos efeitos dessas pressões na biodiversidade de insetos são razoavelmente bem conhecidos e previsíveis, permitindo incorporá-los em estratégias para a gestão ambiental. A redução nas pressões dos habitats também deve ser vista como a melhor estratégia de conservação (ver Lewinsohn *et al.* 2005). Porém, há uma grande lacuna entre o conhecimento sobre os efeitos das pressões sobre a biodiversidade - ou mesmo das respostas da biodiversidade frente a estas mudanças - e a incorporação desse conhecimento em tomadas de decisão, envolvendo a gestão ambiental

¹ Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, CCBS, Cidade Universitária, Caixa Postal 549, CEP 79070-900 Campo Grande, MS, Brasil.

² Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental, IOC, Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Av. Brasil 4365, Manguinhos, CEP 21045-900 Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Unidade Universitária de Aquidauana, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rodovia Aquidauana/UEMS, Km 12, CEP: 79200-000 Aquidauana, MS, Brasil.

⁴ Universidade Federal da Grande Dourados UFGD/FCBA, Caixa Postal 533, CEP 79804-970 Dourados, MS, Brasil.

⁵ Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correia, Nº 1, Bairro Guamá, CEP 66075-110 Belém, PA, Brasil.

⁶ Departamento de Ecologia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, SP, Brasil.

(Strayer e Dudgeon 2010). Um dos desafios é que muitos documentos sobre a conservação e monitoramento da biodiversidade, particularmente envolvendo insetos aquáticos, tem identificado pressões antrópicas e *status* da biodiversidade, mas poucos esclarecem como os padrões encontrados podem subsidiar as tomadas de decisão (Siqueira e Roque 2010).

A temática da gestão da biodiversidade, com vistas à conservação de insetos aquáticos pode ser tratada sob várias perspectivas. Nós optamos pela ênfase em instrumentos de gestão, pois entendemos que estes constituem os principais mecanismos que aproximam ciência e os tomadores de decisão. Apresentamos o Zoneamento Ecológico Econômico - ZEE, Planejamento Sistemático para Conservação, Monitoramento no Contexto da Gestão da Biodiversidade, Licenciamento Ambiental e Espécies Ameaçadas (listas vermelhas) como os cinco instrumentos de gestão da biodiversidade que julgamos essenciais para a efetiva inclusão de informações sobre insetos aquáticos em tomadas de decisão, visando à conservação no Brasil. Finalizamos este capítulo apresentando perspectivas relacionadas à ciência cidadã, com ênfase nos insetos aquáticos, uma vez que instrumentos de gestão, como os apresentados aqui, somente tornar-se-ão uma realidade se houver forte participação popular, tanto no processo de construção do conhecimento, como em sua aplicabilidade.

Zoneamento ecológico econômico - ZEE

Tornar a biodiversidade um tema transversal no planejamento de um país é ideal e essencial para a sustentabilidade e exige ações sincrônicas de grupos de interesse, coerência nas políticas públicas e avanços científicos e tecnológicos. Neste cenário, o Governo Federal criou o programa de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (Brasil 2010), que se configura como uma ferramenta fundamental para o planejamento e transformação de uma região brasileira. O ZEE estabelece medidas e padrões de proteção ambiental para garantir o desenvolvimento sustentável, a melhoria das condições de vida da população, da qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo, além da conservação da biodiversidade. A elaboração

do ZEE envolve o aspecto técnico e político do planejamento ambiental, destacando o papel da participação democrática, com responsabilidades entre a administração pública e a sociedade civil. O objetivo do ZEE é estabelecer normas técnicas e legais para o adequado uso e ocupação do território brasileiro, compatibilizando, de forma sustentável, as atividades econômicas, a conservação ambiental e a justa distribuição dos benefícios sociais, resultantes desses processos.

Na construção do ZEE, apesar da reconhecida importância da biodiversidade, as experiências existentes no Brasil ainda carecem de uma efetiva inclusão deste componente, considerando seus múltiplos valores ecológicos, econômicos, sociais e culturais (Brasil 2010). Dentre os grandes desafios, destaca-se a necessidade de pesquisas que permitam explicitar a valoração da biodiversidade (valores diretos, indiretos e de existência) na elaboração do ZEE.

No Brasil, a única experiência de construção de ZEE que incorporou informações sobre insetos aquáticos foi o Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Agropecuário da SUFRAMA, Amazonas (Zuanon 2005), que inventariou insetos na região de abrangência do planejamento. O Zoneamento da SUFRAMA demonstra claramente que as estratégias com foco na conservação de insetos aquáticos ainda enfrentam dois grandes desafios, conhecidos como déficit de Linnaeus e déficit de Wallace (Bini *et al.* 2006). O déficit de Linnaeus, neste contexto, trata-se do fato de desconhecermos a maioria dos insetos aquáticos no planeta, enquanto que o déficit de Wallace ocorre quando desconhecemos a distribuição das espécies, mesmo aquelas já descritas. Os déficits de Linnaeus e Wallace são restrições, particularmente, importantes para a inclusão de dados sobre insetos aquáticos na elaboração de alguns instrumentos de conservação, tais como, seleções regionais de áreas prioritárias e zoneamentos ambientais. Entretanto, estes problemas podem ser minimizados através de modelagens de distribuição de espécies e o uso de modelos preditivos, fundamentados em teorias ecológicas (Diniz-Filho *et al.* 2010). Além disso, esses déficits devem ser superados, com um forte investimento em estudos taxonômicos, biológicos e ecológicos, mas não devem ser vistos como impedimento para inclusão de informações sobre insetos aquáticos em estratégias de conservação em determinadas condições. No Brasil, apesar

de incipiente, já existem estudos usando insetos aquáticos com essa finalidade, como por exemplo, Nóbrega e De Marco (2011) que utilizaram Odonata como grupo-focal para a seleção de áreas prioritárias para a conservação no Cerrado.

Sugerimos quatro caminhos promissores para a inclusão de insetos aquáticos em ZEEs: a inclusão de dados de grupos bem conhecidos, espécies ameaçadas, habitats críticos que apresentam registros de grandes transformações ou a inclusão de dados de monitoramento de água, usando insetos aquáticos como bioindicadores.

Planejamento sistemático para conservação - áreas prioritárias para conservação

O Planejamento Sistemático para Conservação (PSC) é uma abordagem que permite a incorporação, de forma objetiva, de informações sobre biodiversidade no planejamento e na seleção de áreas prioritárias (Margules e Pressey 2000), considerando princípios como representatividade, insubstituibilidade, abrangência, adequação e eficiência dos objetos de conservação (Linke *et al.* 2011). Além disso, o PSC envolve análises – baseadas em algoritmos computacionais – cujo foco vai além de táxons incluindo avaliações de habitats em diferentes escalas (Mace *et al.* 2007). O caráter dinâmico do PSC possibilita que os processos metodológicos sejam multidirecionais, com revisão contínua dos parâmetros e resultados das indicações de áreas prioritárias para conservação.

O PSC visa estabelecer um balanço entre os aspectos ecológicos, econômicos e sociais que envolvem a seleção de áreas prioritárias para a conservação ambiental. Assim, o PSC aponta para uma destinação eficiente dos recursos financeiros, de modo a estabelecer uma rede de áreas protegidas, na forma de mosaicos ou complementares, que possam mitigar impactos e/ou conflitos decorrentes dos diferentes usos do solo nas áreas circunvizinhas. Seu objetivo é selecionar áreas com alto valor para conservação, baixa densidade populacional humana, baixo custo da terra e que apresentem pouco uso do solo, diminuindo os conflitos de interesse que algumas vezes surgem na implantação de áreas protegidas. Por exemplo, Loyola *et al.* (2009), dentro da abordagem de PSC incluiu em uma mesma análise, o custo da terra e atributos biológicos das espécies,

na seleção de áreas prioritárias para conservação de carnívoros em escala global.

O Brasil tem papel fundamental na proteção da biodiversidade, sendo, na última década, a nação responsável pela criação de 74% das reservas criadas no planeta (Jenkins e Joppa 2009). As Unidades de Conservação (UCs) no território brasileiro abrangem uma área de mais de 1,5 milhões de km², perfazendo um total de 310 unidades federais, 568 estaduais, 89 municipais e 629 Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) (574 federais e 55 estaduais) (Plano Consolidação das UCs 2012). Apesar dos valores serem altos, sua distribuição não é proporcional entre as regiões e pode criar uma falsa impressão de que a biodiversidade está bem conservada, pois muitas foram estabelecidas sem planejamento ou até mesmo criadas com objetivos diversos aos da conservação da biodiversidade. Como resultado desse tipo de criação de áreas protegidas, existem lacunas importantes no sistema global de reservas (Nogueira *et al.* 2009), com grandes deficiências em ambientes marinhos e de águas continentais (ver Meta 11 de Aichi: <http://www.cbd.int/sp/targets>). Por isso, essas áreas protegidas deverão ser, gradativamente, analisadas para o restabelecimento das metas de conservação, a fim de se evitar redundâncias e ao mesmo tempo buscar complementaridade para a conservação da biodiversidade, que é uma das premissas do PSC.

O PSC é uma abordagem relativamente recente e usa de conceitos bem explorados em ecologia da paisagem, pois são necessárias mensurações bem específicas (métricas da paisagem), como forma de transformar em mapas de áreas prioritárias a complexa rede ecológica (ou parte dela) de uma unidade de planejamento (*e.g.*, uma microbacia hidrográfica). Embora o PSC seja um método desenvolvido originalmente para ambientes terrestres (Margules e Pressey 2000), nos últimos anos tem havido um crescimento no uso desta abordagem para selecionar áreas prioritárias em sistemas aquáticos (Linke *et al.* 2011). Porém, ainda se observa que estudos da conservação de ambientes de águas continentais têm recebido menos atenção do que os terrestres ou marinhos (Strayer e Dudgeon 2010). De acordo com Linke *et al.* (2011), um dos grandes desafios no uso dessa abordagem é a sua adequação para o contexto dos sistemas aquáticos, incluindo relações com a configuração da paisagem e com a natureza

dendrítica dos sistemas hídricos. Ferramentas de planejamento para a conservação, tais como, o Marxan (programa para o planejamento sistemático dos esforços para a conservação, que usa um algoritmo específico no cálculo do balanço entre o custo da conservação e os seus benefícios, produzindo um mapa de prioridades), precisam ser modificadas para levar em conta a natureza espacial desses sistemas. Assim, características como a conectividade dos cursos d'água, bem como os relevantes impactos ambientais de origem antrópica precisam ser consideradas no planejamento para a conservação, uma vez que desempenham papel fundamental em ambientes aquáticos, influenciando toda a biodiversidade a jusante. Assim, o uso de PSC para ambientes aquáticos pode aprimorar o planejamento regional de áreas submetidas a forte pressão antrópica e de intensa perda de áreas naturais, como é o caso de diversos biomas na região Neotropical.

O uso de insetos aquáticos como grupo-focal no planejamento sistemático ainda é incipiente no Brasil. Conforme mencionado anteriormente, Nóbrega e De Marco (2011) utilizaram Odonata na seleção de áreas prioritárias para conservação no Cerrado. Os resultados desse estudo indicam que o grupo não está totalmente protegido pelas unidades de conservação existentes e também a rede de UCs atual não abriga, a contento, espécies raras ou ameaças de extinção. Embora o trabalho demonstre a utilidade de PSC para exercitar estratégias para conservação de um grupo de insetos aquáticos, vale ressaltar que nenhum grupo de insetos aquáticos foi incluído em qualquer documento normativo de seleção de áreas prioritárias no Brasil.

Apesar dos PSCs apresentarem grande potencial para auxiliar na proteção de uma amostra representativa de biodiversidade regional de forma dinâmica e inteligente, já que aponta para a melhor relação de custo-benefício na proteção do máximo de biodiversidade com o menor risco de conflitos, a ferramenta é ainda pouco explorada, pelos interessados em conservação da biodiversidade aquática.

Monitoramento no contexto da gestão da biodiversidade

A despeito da reconhecida importância de monitorar a biodiversidade como parte da gestão e o crescente número de iniciativas, no Brasil, como em outras partes do mundo, os sistemas de monitoramento em geral têm três problemas principais: (i) têm objetivos vagos e pouco articulados, o que dificulta a conexão entre o que esta sendo medido e tomadas de decisão (ii) não têm suporte institucional apropriado, coordenação e alvos de financiamento para monitoramento da biodiversidade; e (iii) não têm padrões técnicos estabelecidos que guiem as atividades de monitoramento e tornem os dados destes programas disponíveis (Lindenmayer *et al.* 2012). Portanto, a efetiva inclusão da biodiversidade como componente da gestão no Brasil depende da ampliação do nosso conhecimento científico sobre biodiversidade, estabelecimento de ferramentas de análise, de bancos de dados, do envolvimento de pesquisadores, padronização de abordagens, estratégias de monitoramento, bem como, da participação popular.

Uma alternativa para resolver o problema da subjetividade dos estudos de monitoramento ambiental é o uso do monitoramento da biodiversidade no contexto da gestão adaptativa, que é entendida como um sistema de gestão em que o desenvolvimento de um modelo conceitual, conjunto de questões, desenho experimental, coleta dos dados, análises, interpretações e tomadas de decisões estão conectadas por passos iterativos. O sistema de monitoramento adaptativo evolui em resposta a novas informações, novas questões e desenvolvimento de novos protocolos, mas sem distorcer ou quebrar a continuidade e a integridade da série temporal do monitoramento. Além do aspecto técnico, o sistema de monitoramento adaptativo envolve o aspecto político da gestão da biodiversidade, destacando a participação democrática, com responsabilidades, entre as esferas públicas e a sociedade civil. Um sistema de monitoramento bem planejado e implantado deve: (i) produzir informações sobre tendências de questões chaves da biodiversidade; (ii) alertar antecipadamente sobre problemas, que após estabelecidos, podem ser difíceis ou muito caros de reverter; (iii) gerar evidência quantificável sobre sucesso (*e.g.*, recuperação de espécies

após manejo) e insucesso de conservação; (iv) destacar maneiras de tornar o manejo mais efetivo; e (v) oferecer informações sobre o retorno do investimento em conservação. Para maiores informações, ver Lindenmayer *et al.* (2011).

No Brasil, os insetos aquáticos são usados como indicadores em alguns sistemas de monitoramento de órgãos ambientais (*e.g.*, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul - IMASUL, Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, Instituto Ambiental do Paraná - IAP) e auto-monitoramento de alguns empreendimentos, sendo usados principalmente como indicadores indiretos de qualidade de água (ver capítulo sobre insetos como bioindicadores nesta edição e Buss *et al.* (2008)). Entretanto, ainda não temos iniciativas de uso de insetos aquáticos como indicadores *dublês* em monitoramento de biodiversidade ou no contexto de monitoramento de espécies focais (*e.g.*, espécies ameaçadas). Portanto, a temática de monitoramento adaptativo é uma área pouca explorada no Brasil, a despeito da sua importância no contexto de gestão da biodiversidade.

Licenciamento ambiental

Principalmente a partir da promulgação da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), definida pela Lei 6.938/81¹, o Brasil tem criado uma série de instrumentos legais para mediar conflitos, envolvendo interesses múltiplos no uso do solo, de recursos naturais e para garantir a integridade ambiental de seus ecossistemas. Um dos principais instrumentos dessa Política é o Licenciamento Ambiental². De modo geral, o processo de Licenciamento Ambiental (LA) é dividido em três fases: licenciamento prévio, de instalação e de operação, cada qual com o seu papel e suas particularidades.

O roteiro e Termo de Referência (TR) do Licenciamento Ambiental devem ser elaborados com base em princípios claros de racionalidade (*e.g.*, relações de causa e efeito entre as métricas de comunidades biológicas, como insetos aquáticos, e os preditores ambientais), implementação (*e.g.*, baixo custo, tempo de processamento de amostras

e facilidade de comunicação dos resultados para aqueles que não são especialistas) e desempenho (*e.g.*, ampla aplicação geográfica) (Bonada *et al.* 2006). Em outras palavras, devem ter forte base técnico-científica conciliada com as etapas de tomada de decisão e viabilidade. Esta não é uma tarefa simples, pois a integração entre conhecimento técnico-científico e tomada de decisão na esfera do Licenciamento Ambiental ainda é restrita no Brasil. No âmbito do Licenciamento Ambiental, o distanciamento entre a academia, as empresas de consultoria e os órgãos ambientais tem gerado um descompasso entre o tipo de informação necessária para a tomada de decisão e aquilo que é efetivamente obtido e discutido nos estudos ambientais em atendimento aos órgãos competentes. Neste cenário, para macroinvertebrados aquáticos (incluindo insetos aquáticos), verificamos comumente algumas situações desafiadoras no processo de licenciamento: i) muitas informações biológicas são obtidas, contudo não são apropriadas aos processos de tomada de decisão; ii) informações biológicas essenciais, por exemplo, limiares de resposta frente às pressões não são obtidas, o que pode resultar em tomada de decisões equivocadas, iii) resolução taxonômica insuficiente ou até mesmo identificações duvidosas; iv) planejamento amostral espacial e temporal inadequado, incluindo excesso de amostras que não tem valor para análise, mas principalmente falta de amostras para responder as perguntas necessárias; v) ausência de análises estatísticas adequadas e, análises e interpretações equivocadas, relativas a causa e efeito entre variáveis ambientais e biológicas. Estes padrões provavelmente se repetem para diferentes grupos. Uma reflexão mais profunda sobre o tema pode ser observada em Ferraz (2012). Entretanto, no caso de invertebrados, eles são ainda mais comuns, pois recursos humanos especializados no assunto são ainda insuficientes, tanto nas empresas de consultoria quanto nos órgãos licenciadores.

Os insetos aquáticos, objeto crescente de estudos científicos, envolvendo impactos ambientais (*e.g.*, Bonada *et al.* 2006, Oecologia Brasiliensis 12(3): 2008, Siqueira e Roque 2010, Monteiro-Júnior *et al.* 2013), constituem um grupo já incorporado

¹ Ver Santos 2007 que traz considerações e reflexões acerca desta lei federal como um marco legal para o surgimento do planejamento ambiental no Brasil, como forma de orientação de ordenamento territorial.

² Um detalhamento das etapas de elaboração de um estudo ambiental e seus diferentes papéis nas fases do licenciamento pode ser visto em Sánchez (2008).

em rotinas de monitoramento de qualidade de água de alguns órgãos ambientais brasileiros (e.g., CETEC-MG, CETESB-SP, IMASUL-MS, IAP-PR), conforme destacado anteriormente no tópico de monitoramento. Para a análise dos dados podem ser empregadas métricas de riqueza taxonômica, densidade de organismos, índices de diversidade, índices tróficos, índices funcionais, espécies indicadoras, padrões de distribuição nos habitats estudados (variação da composição) e índices de qualidade da água (multimétricos ou não) e modelos preditivos (Buss *et al.* 2003, Buss *et al.* 2008). Entretanto, em muitos casos, estas medidas não estão claramente conectadas com tomada de decisão, ou monitoramento do empreendimento, no processo de licenciamento. Nos estudos de impactos ambientais, as informações muitas vezes são compiladas de dados da literatura que podem ter outros objetivos ou ter incluído outras áreas similares à do local de implantação do empreendimento, podendo ser inadequadas para dar sustentação ao processo de tomada de decisão. Mesmo nos casos em que os dados são coletados diretamente, pode haver inadequação de métodos de coleta e análise, sem uma clara relação de causa e efeito entre as medidas de comunidade e potenciais impactos. As raízes destes problemas residem na insuficiente regulamentação sobre técnicas e métodos testados e normatizados para que permitam, inclusive, comparar dados ou obter equivalência de resultados em todos os biomas do Brasil. Como consequência, há insuficiência de informações necessárias para subsidiar os processos decisórios (tomada de decisão). Para superar estes obstáculos, o Grupo de Trabalho de Biomonitoramento da Associação Brasileira de Limnologia propõe uma agenda geral para o desenvolvimento de estudos ambientais no Brasil, com destaque para os seguintes requisitos:

- i) desenvolver uma tipologia para sistemas lênticos e lóticos;
- ii) definir condições “referência” para cada tipologia;
- iii) considerar bacias hidrográficas como unidades de gestão;

iv) definir e padronizar métodos para a implantação dos programas;

v) integrar os diferentes métodos em programas de monitoramento e definir em quais situações cada método é mais indicado;

vi) estimular a confiabilidade em laboratórios e grupos de pesquisa;

vii) estimular a criação e manutenção de coleções zoológicas regionais de referência;

viii) estimular a formação de pessoal técnico e científico, principalmente em áreas do Brasil em que estas atividades ainda estão pouco desenvolvidas;

ix) criar e/ou fortalecer cursos de graduação, pós-graduação e cursos técnicos, envolvendo biodiversidade aquática e monitoramento;

x) direcionar parte dos esforços para a transformação dos resultados das pesquisas em serviços e patentes;

xii) e integrar a ação das organizações que atuam na temática.

Particularmente em relação ao uso de insetos aquáticos em licenciamento ambiental, o grupo de trabalho destaca os seguintes desafios:

i) criação de um sistema de certificação e capacitação de consultores para identificação de macroinvertebrados;

ii) criação e atualização de chaves de identificação taxonômica para cada região/bioma do país;

iii) Elaboração e publicação de protocolos de coleta e análise de comunidades padronizados, possibilitando a comparação entre estudos³;

iv) inclusão no relatório do número de depósito do material em coleções de referência, cumprindo exigências da Instrução Normativa nº 160/2007, que institui o Cadastro Nacional de Coleções Biológicas, pois além de servirem para certificação da identificação taxonômica e rastreabilidade, há o depósito de táxons novos que podem ser utilizados em outros estudos científicos, como revisões, banco de dados genéticos e outros;

v) estabelecimento de atributos normativos para os indicadores biológicos, por meio de processo

³ Vale destacar experiências regionais como as chaves para os estados de São Paulo (<http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/guiaonline>, <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>), Rio de Janeiro (Mugnai et al. 2010) e Amazonas (serão publicadas em breve como parte do projeto Pronex - Insetos aquáticos: biodiversidade, ferramentas ambientais e a popularização da ciência para melhoria da qualidade de vida humana no estado do Amazonas). (4) Ver Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Targets (<http://www.cbd.int/sp/targets>) e documentos e informativos técnicos da COP 10).

de consulta pública de grupo de trabalho, criado junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

vi) integração e divulgação das informações em sistemas de fácil acesso à comunidade científica e sociedade em geral;

vii) implementação de mecanismos de aproximação entre academia e tomadores de decisão no processo de Licenciamento Ambiental por meio de instrumentos participativos, tais como, câmaras técnicas para elaboração de TR;

viii) estimular a discussão nacional junto ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para viabilizar consulta pública, visando a elaboração de uma resolução que defina um TR para biomonitoramento por tipologia de atividade passível de licenciamento ambiental.

Espécies ameaçadas

Espécies de insetos aquáticos passaram a ser incluídas em discussões sobre prioridade e conservação apenas recentemente e o único grupo que possui uma avaliação global de *status* de conservação é Odonata (Clausnitzer *et al.* 2009). Em uma revisão recente, Strayer e Dudgeon (2010), descrevem que para insetos aquáticos o *status* de conservação só foi analisado para Odonata e Plecoptera. A lista vermelha de Espécies Brasileiras Ameaçadas de Extinção apresenta uma espécie de Ephemeroptera e das 936 espécies de Odonata conhecidas no Brasil, oito estão na lista de espécies ameaçadas, sendo três delas incluídas na categoria vulnerável, três em perigo, uma criticamente em perigo e uma extinta (MMA 2008).

Dentre os grupos de insetos aquáticos, apenas a conservação das espécies de Odonata e dos seus respectivos ambientes aquáticos têm sido alvo de preocupação constante de especialistas neste grupo. Odonata é um dos grupos que tem a sistemática mais bem resolvida, além de ter um grande apelo popular (espécies bandeiras), o que acaba resultando em maior quantidade de dados, quando comparado a outras espécies. Este interesse no grupo tem contribuído para o uso de suas informações em iniciativas de conservação. Embora as listas de espécies ameaçadas sejam importantes do ponto de vista normativo e, sejam atualizadas frequentemente, muitas vezes, expressam apenas a ausência de conhecimento

sobre alguns grupos, como os insetos aquáticos. Nesse contexto, De Marco Jr e Vianna (2005) trouxeram reflexões acerca da necessidade urgente de priorização de áreas para a conservação da biodiversidade, tendo em vista que a insuficiência de informações é um grande obstáculo que torna muitos dos instrumentos utilizados para a conservação de espécies, tais como as listas de espécies ameaçadas de extinção, pouco efetivas ou questionáveis. Além disso, muitas vezes devido à carência de estudos em várias regiões, a distribuição das espécies está condizente a regiões próximas onde existe um especialista no grupo.

A 10ª reunião da Conferência das Partes em 2010 (COP 10) da Convenção sobre Diversidade Biológica (Convention on Biological Diversity - CBD), em Nagoya, Aichi, Japão gerou acordos para adoção de um Plano Estratégico para a Biodiversidade para o período de 2011 a 2020 e as Metas de Aichi⁽⁴⁾. As nações signatárias da CBD deverão ter planos de ação para a biodiversidade estabelecidos até 2020, inclusive com ações concretas para conservação das espécies ameaçadas. Portanto, nesses planos deverão constar medidas eficazes e urgentes para deter a perda de biodiversidade, a fim de garantir que, até 2020, os ecossistemas sejam resilientes e continuem a fornecer serviços essenciais. Além disso, uma das metas de Aichi trata de espécies ameaçadas, devendo constar nos planos, medidas eficazes e sustentáveis para a sua conservação e recuperação/restauração.

O primeiro grupo de invertebrados a possuir um plano é Lepidoptera, denominado de “Plano de Ação Nacional para Conservação de Lepidópteros Ameaçados de Extinção” (ICMbio/MMA 2011). Neste plano é apresentada uma lista revisada de táxons de borboletas e mariposas ameaçadas de extinção, com sua categoria de ameaça e informações atualizadas sobre as Unidades de Conservação e estados brasileiros onde ocorrem. Além disso, constam neste plano as principais metas, ações de conservação, implementação do plano de ação, matriz de planejamento, dentre outras informações pertinentes, tendo em vista a conservação, a recuperação e a sustentabilidade. Para os insetos aquáticos ainda não existe plano oficial ou alguma iniciativa proposta, neste sentido, pelos órgãos ambientais para a conservação de espécies ameaçadas.

Em várias partes do globo, em especial no Japão, têm sido criadas Unidades de Conservação com o objetivo primário de proteger a fauna de insetos aquáticos, em particular de Odonata. O Brasil também reúne exemplos importantes, como o Refúgio de Vida Silvestre Libélulas da Serra de São José, no município de Tiradentes, estado de Minas Gerais, que foi criada em 2005, visando à conservação de sua riquíssima fauna de Odonata, com cerca de 200 espécies. Outra iniciativa importante é a avaliação do *status* e proposição de estratégias para conservação de *Leptagrion acutum* Santos, 1961, ameaçada de extinção na Mata Atlântica (Furieri 2008).

Em síntese, a obtenção de mais informações sobre as espécies, atualmente, consideradas ameaçadas e de outras potencialmente ameaçadas, mas que ainda não são reconhecidas em instrumentos legais (como as listas vermelhas) é fundamental para elaboração de estratégias de conservação, como as preconizadas pelas Metas de Aichi. Este desafio deve mobilizar pessoas e organizações nos próximos anos, no sentido não apenas de elaboração de planos, mas acima de tudo, visando às ações de conservação.

Ciência cidadã: um caminho para ampliar o envolvimento popular em ciência e gestão de biodiversidade

Provavelmente, uma pequena parte da população mundial já esteja vivendo o que chamamos de “e-Science”, em termos gerais, uma ciência baseada em intenso volume de dados computacionais distribuídos em redes. Obviamente, o acúmulo e acesso aos dados propiciados por tecnologias de comunicação, não correspondem diretamente a informações e recursos humanos bem informados e, principalmente, bem treinados para o uso da informação gerada rapidamente. A aproximação e envolvimento das pessoas permitem formular perguntas, hipóteses, analisar e interpretar a natureza, sendo questões essenciais para formação de pessoas mais críticas capazes de tomar decisões apropriadas e fazer bom uso dos dados.

Essencialmente, estamos falando de aproximar ciência e gestão, incluindo múltiplo saberes. Uma das abordagens para esta aproximação é a Ciência cidadã, que se constitui basicamente em uma grande rede colaborativa entre cientistas profissionais e qualquer outro cidadão interessado

em construir conhecimento científico e tomar decisões a partir dele. O florescimento da ciência cidadã envolve o ensino formal, em seus diferentes níveis e o informal, pois para a ampla incorporação cultural da ciência cidadã no cotidiano das pessoas é necessário, engajamento e participação em projetos voluntários em diferentes contextos.

A gestão dos recursos hídricos é um dos casos exemplares deste encontro de saberes e potencialidades. O interesse sobre a participação pública na gestão dos recursos hídricos vem aumentando e é apontada como estratégica para o século XXI. De acordo com o documento das Nações Unidas, Agenda 21 (CNUMAD 1996) e outros documentos posteriores:

“Para delegar o manejo dos recursos hídricos ao nível adequado mais baixo é preciso educar e treinar o pessoal correspondente em todos os planos, assegurando que todos possam participar em pé de igualdade dos programas de educação e treinamento. Deve-se dar particular ênfase à introdução de técnicas de participação pública, inclusive com a intensificação do papel da mulher, da juventude, das populações indígenas e das comunidades locais. Os conhecimentos relacionados com as várias funções do manejo da água devem ser desenvolvidos por governos municipais e autoridades do setor privado, organizações não-governamentais locais/nacionais, cooperativas, empresas e outros grupos usuários de água. É necessária também a educação do público sobre a importância da água e de seu manejo adequado. (...) Para implementar esses princípios, as comunidades precisam ter capacidades adequadas. Aqueles que estabelecem a estrutura para o desenvolvimento e manejo hídrico em qualquer plano, seja internacional, nacional ou local, precisam garantir a existência de meios para formar essas capacidades os quais irão variar de caso para caso. Elas incluem usualmente: (a) programas de conscientização, com a mobilização de compromisso e apoio em todos os níveis; (...); e (f) partilha de conhecimento e tecnologia adequados, tanto para a coleta de dados como para a implementação de desenvolvimento planejado, incluindo tecnologias não-poluidoras e o conhecimento necessário para obter os melhores resultados do sistema de investimentos existente”.

A legislação brasileira abre possibilidades igualmente interessantes neste sentido e a Lei

das Águas (Lei 9.433/97) foi o marco legal para o estabelecimento dessa nova cultura. Em seu sexto fundamento, a lei aponta que a gestão de recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Por *descentralizada* entende-se que tudo o que puder ser resolvido localmente deverá ser feito dessa maneira, incluindo o envolvimento de todos os cidadãos.

As soluções para o estabelecimento de uma gestão descentralizada são particulares e dependem dos contextos sócio-ambientais. No entanto, duas facetas são universalmente importantes: o empoderamento dos atores sociais, em todos os níveis, e a produção de dados com qualidade, para nortear as discussões e a tomada de decisões (UNESCO, World Water Assessment Programme 2003).

A noção de manejo integrado implica em uma mudança progressiva na direção do desenvolvimento de abordagens que incluam todos os atores sociais, considerando as intrincadas conexões entre sociedade, cultura, ciência e ambiente. Para tal, é necessária uma maior participação em todos os níveis e profundas modificações na relação entre Estado e sociedade, com implicações nas formas com que o conhecimento é produzido, adquirido e compartilhado.

Um aspecto fundamental a ser considerado na aplicação de um programa de monitoramento é a habilidade em traduzir a informação tanto para os gestores ambientais, quanto para o público em geral. Atualmente, há que se considerar que parte do conhecimento científico gerado pelas pesquisas, seja direcionado para atender às necessidades da sociedade. Muitas vezes, a complexidade dos resultados impede a interpretação pelo público leigo e até mesmo pelos tomadores de decisão, tornando a informação restrita e com baixo poder de resolução dos problemas. Portanto, é fundamental que esse processo envolva diversos atores sociais, integrando o meio científico, o político, o social e o econômico, para que as informações geradas sejam compreendidas e aplicadas adequadamente.

Macroinvertebrados aquáticos têm sido usados como bioindicadores em iniciativas de “ciência cidadã”, principalmente no contexto de monitoramento de água (Buss 2002). Diferentes locais no planeta tem desenvolvido experiências, envolvendo avaliações de qualidade ambiental,

usando macroinvertebrados como biodiindicadores, incluindo desenvolvimento de ferramentas de análises, cursos e encontros.

No Brasil, algumas iniciativas exemplificam bem o envolvimento de diferentes grupos sociais no processo de monitoramento voluntário de ambientes aquáticos, envolvendo macroinvertebrados. Em Angatuba, estado de São Paulo, estudantes do ensino fundamental diagnosticaram a qualidade de água, usando vários indicadores (Henry 2012). No Pantanal, voluntários têm participado de monitoramento usando macroinvertebrados, como bioindicadores em programas desenvolvidos pela Conservação Internacional e Wildlife Conservation Society (Don Eaton, comunicação pessoal). Em Manaus, o projeto “Popularização da Ciência” constitui um grande avanço no envolvimento da comunidade com ciência em geral, usando insetos aquáticos como modelo, incluindo múltiplas atividades, como jogos, guias de campo e exposições. Na região Oeste do estado do Paraná, mais de 600 voluntários de 32 municípios participam de um programa de monitoramento usando índices biológicos, com macroinvertebrados como bioindicadores (Buss 2008), além de atuarem diretamente na discussão e resolução dos problemas em fóruns locais e/ou nos comitês de bacia e consórcios intermunicipais (Buss *et al.* 2003). Desde 1998, iniciativas similares do Programa “AGente das Águas” foram e/ou vem sendo realizadas nos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro (Buss 2006; Buss 2008b).

Outro marco de atenção dos programas participativos é a garantia da qualidade dos dados gerados pelos voluntários. Portanto, não adianta apenas que a população participe. Os dados gerados nesses programas devem ser de qualidade para servirem à tomada de decisão. No Programa AGente das Águas, metodologias de Quality Assurance/Quality Control são usadas para a garantia da qualidade dos dados gerados. Uma das formas para tal é realizar o monitoramento, seguindo as técnicas usadas nos centros de pesquisa e comparar com os dados gerados pelos voluntários. Os resultados até o momento indicaram que, em 92% dos casos, o índice multimétrico utilizado pelos pesquisadores, onde os macroinvertebrados são identificados em nível taxonômico de gênero, e o índice biológico criado para os voluntários, em nível taxonômico de ordem, produziram resultados similares (Buss

2008b), corroborando a discussão sobre suficiência taxonômica para fins de monitoramento biológico (Buss e Vitorino 2010). Isto indica a possibilidade concreta do uso de dados gerados por voluntários, bem treinados e certificados, para o monitoramento rotineiro da qualidade das águas.

Para além do grupo de voluntários, uma proposta interessante é que seja criada uma rede de informações com múltiplas instituições, para que essas atividades pautem os programas de monitoramento realizados pelos centros de pesquisa e agências ambientais. Assim, o monitoramento, mais custoso, realizado por esses órgãos seria utilizado, predominantemente, quando os dados gerados pelos voluntários indicassem algum impacto ambiental. Isto permitiria a redução dos custos de análise, incluiria uma parcela da população na gestão ambiental (principalmente pessoas que sabem onde os problemas ocorrem) e direcionaria os gastos públicos para a resolução dos problemas locais.

É certo que os dados gerados pelos programas participativos são de grande valor, não apenas por envolver e empoderar setores sociais desprivilegiados de atuação nos processos de gestão, mas porque a comunidade sabe aonde os problemas existem e quais os mecanismos locais possíveis para resolvê-los. Desde que as comunidades tenham infraestrutura mínima, treinamento adequado, certificação e controle da qualidade dos dados gerados, os voluntários mostraram ser capazes de agir na melhoria efetiva da qualidade da água e, portanto, refletindo na qualidade de vida da população.

Referências Bibliográficas

Bini, L.M.; Diniz-Filho, J.A.F.; Rangel, T.F.L.V.B.; Bastos, R.P.; Pinto, M.P. 2006. Challenging Wallacean and Linnean shortfalls: knowledge gradients and conservation planning in a biodiversity hotspot. *Diversity and Distributions*, 12: 475-482.

Bonada, N.; Prat, N.; Resh, V.H.; Statzner B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51: 495-523.

Brasil. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 de setembro de 1981.

Brasil. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de janeiro de 1997.

Brasil. Instrução Normativa nº 160, de 27 de abril de 2007. Institui o Cadastro Nacional de Coleções Biológicas (CCBIO). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 de abril de 2007.

Buss, D.F. 2002. Proteção à vida aquática, participação das comunidades e políticas de recursos hídricos. *Ciência & Ambiente*, 25: 71-84.

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. *Cadernos de Saúde Pública*, 19: 465-473.

Buss, D.F. 2006. Possibilidades da participação pública em programas de biomonitoramento de rios. *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*, 35: 42-47.

Buss, D.F. 2008a. Desenvolvimento de um índice biológico para uso de voluntários na avaliação da qualidade da água de rios. *Oecologia Brasiliensis*, 12: 516-526.

Buss, D.F. 2008b. *Desenvolvimento de protocolos de bioavaliação rápida da qualidade da água de rios e seu uso por agentes comunitários na gestão de recursos hídricos*. Tese de Doutorado em Ciências em Saúde Pública. ENSP/FIOCRUZ, Rio de Janeiro.

Buss, D.F.; Oliveira, R.B.; Baptista, D.F. 2008. Monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos continentais. *Oecologia Brasiliensis*, 12: 339-345.

Buss, D.F.; Vitorino, A.S. 2010. Rapid Bioassessment protocols using benthic macroinvertebrates in Brazil: evaluation of taxonomic sufficiency. *Journal of the North American Benthological Society*, 29: 562-571.

Clausnitzer, V.; Kalkman, V.J.; Ram, M.; Collen, B.; Baillie, J.E.M.; Bedjanic, M.; Darwall, W.R.T.; Dijkstra K.D.B.; Dowf, R.; Hawking, J.; Karube, H.; Malikova, E.; Paulson, D.; Schutte, K.; Suhling, F.; Reagan, J.; Villanueva, R.J.; Ellenrieder, N.V.; Wilson, K. 2009. Odonata enter the biodiversity crisis debate: The first global assessment of an insect group. *Biological Conservation*, 142: 1864-1869.

- De Marco Jr, P.; Vianna, D.M. 2005. Distribuição do esforço de coleta de Odonata no Brasil - subsídios para escolha de áreas prioritárias para levantamentos faunísticos. *Lundiana*, 6(supplement):13-26.
- Diniz-Filho, J.A.F.; De Marco Jr; P.; Hawkins, B.A. 2010. Defying the curse of ignorance: perspectives in insect macroecology and conservation biogeography. *Insect Conservation and Diversity*, 3: 172-179.
- Ferraz, G. 2012. Twelve Guidelines for Biological Sampling in Environmental Licensing Studies. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 10: 20-26.
- Furieri, K.S. 2008. *Biologia da Conservação do Gênero Leptagrion e uma proposta para o manejo de Leptagrion acutum (Coenagrionidae: Odonata)*. Tese (Doutorado em Entomologia), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.
- Henry, R. (org.). 2012. *O diagnóstico da qualidade das águas do rio Guareí (Angatuba, SP)*. Uma cooperação Ensino Superior - Educação básica. Botucatu: 1, 155p.
- ICMBio/MMA. 2011. *Plano de Ação Nacional para Conservação dos Lepidópteros Ameaçados de Extinção*. Freitas A. V. L. e Marini-Filho O. J. (orgs.). Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBio, Série Espécies Ameaçadas nº 13, 124 p.
- Jenkins, C.N.; Joppa, L. 2009. Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biological Conservation*, 142: 2166-2174.
- Lewinsohn, T.M.; Freitas, A.V.L.; Prado, P.I. 2005. Conservation of terrestrial invertebrates and their habitats in Brazil. *Conservation Biology*, 19: 640-645.
- Lindenmayer, D.B.; Gibbons, P.; Bourke, M.; Burgman, M.; Dickman, C.R.; Ferrier, S.; Fitzsimons, J.; Freudenberger, D.; Garnett, S.T., Groves, C.; Hobbs, R.J.; Kingsford, R.T.; Krebs, C.; Legge, S.; Lowe, A.J.; Mclean, R.; Montambault, J.; Possingham, H.; Radford, J.; Robinson, D.; Smallbone, L.; Thomas, D.; Varcoe, T.; Vardon, M.; Wardle, G.; Woinarski, J.; Zenger, A. 2012. Improving biodiversity monitoring. *Austral Ecology*, 37: 285-294. doi: 10.1111/j.1442-9993.2011.02314.x
- Linke, S.; Turak, E.; Nel, J. 2011. Freshwater conservation planning: the case for systematic approaches. *Freshwater Biology*, 56: 6-20. Disponível em <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2427.2010.02456.x/full>.
- Loyola, R.D.; Oliveira-Santos, L.G.R.; Almeida-Neto, M.; Nogueira, D.M.; Kubota U.; Diniz-Filho, J.A.F.; Lewinsohn, T.M. 2009. Integrating Economic Costs and Biological Traits into Global Conservation Priorities for Carnivores. *PLoS ONE*, 4, e6807.
- Mace, G.M.; Possingham, H.P., Leader-Williams, N. 2007. Prioritizing choices in conservation. In: Macdonald, D.W.; Service, K. (eds). *Key topics in conservation biology*. Blackwell, Oxford, Reino Unido: 17-34.
- Machado, R.B.; Ramos-Neto, M.B.; Silva, S.M.; Camargo, G.; Pinto, E.; Fonseca, R, L.; Nogueira, C.; Ribeiro, A. P. 2009. Integrando padrões e processos para planejar sistemas regionais de unidades de conservação. *Megadiversidade*, 5: 54-64.
- MMA 2008. *Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção*. Machado, A.B.M.; Drummond, G.M.; Paglia, A.P. Brasília, DF: MMA (eds.); Belo Horizonte, MG: Fundação Biodiversitas. Biodiversidade, 19, 1420 pp.
- Margules, C.R.; Pressey, R.L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405: 243-253.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington DC. Disponível em <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>.
- Monteiro-Júnior, C.S.; Couceiro, S R.M.; Hamada, N.; Juen, L. 2013. Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. *International Journal of Odonatology*, 17: 1-12.
- Nóbrega, C.C.; De Marco Jr., P. 2011. Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. *Diversity and Distributions*, 17: 491-505.
- Nogueira, C.; Valdujo, P.H.; Paese, A.; Ramos-Neto, M.B.; Machado, RB. 2009. Desafios para a identificação de áreas para conservação da biodiversidade. *Megadiversidade*, 5: 44-52.

- Sánchez, L.E. 2008. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo: Oficina de Textos, 495p.
- Santos, R.F. 2007. *Planejamento ambiental: teoria e prática*. São Paulo: Oficina de Textos, 184 p.
- Siqueira, T.; Roque, F.O. 2010. O Desafio da normatização de informações de biodiversidade para gestão de águas: aproximando cientistas e gestores. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 8: 190-193.
- Strayer, D.L.; Dudgeon, D. 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of the North American Benthological Society*, 29: 344-358.
- UNESCO, World Water Assessment Programme. 2003. *Water for people, water for life: The United Nations World Water Development Report*. Barcelona: UNESCO and Berghahn Books.
- Wiens, J.A. 2002. Riverin landscapes: taking landscape ecology into the water. *Freshwater Biology*, 47: 501-515.
- Zuanon, J.A.S. (coord) 2005. *Biodiversidade. Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Agropecuário da SUFRAMA*. Textos, Mapas & SIG. Tombo III (Relatório Técnico), 99p