

ECOTOX - BRASIL

J. Braz. Soc. Ecotoxicol., v. 7, n. 1, 2012, 55-63
doi: 10.5132/jbse.2012.01.009

JBSE

Estabelecimento de Protocolo de Avaliação de Risco Ecológico em Ambiente Aquático tendo o Programa de Monitoramento do Rio Jacuí, São Jerônimo (RS)

K. TALLINI^{1,2}, L.S.P. GUIMARÃES³, J.M.G. FACHEL³ & M.T.R. RODRIGUEZ¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Porto Alegre, Av. Ramiro Barcelos, 2777, CEP 90.035-007 – Porto Alegre, RS, Brasil.

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Matemática, Departamento de Estatística, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, RS, Brasil.

(Received April 09, 2010; Accept August 23, 2011)

Resumo

A contribuição deste trabalho é a aplicação de protocolo de avaliação de risco ecológico do ambiente aquático utilizando-se dados provenientes de programas de monitoramento ambiental. O estudo tem como cenário um trecho do Rio Jacuí, município de São Jerônimo – RS, Brasil, que foi avaliado através da aplicação de um programa de monitoramento ambiental. Consideraram-se como variável-explicativa as linhas de evidência registradas nos compartimentos abióticos água superficial e sedimento. As evidências químicas foram decorrentes da presença de Hg, Pb e Zn e as evidências ecotoxicológicas de ensaios de toxicidade aquática com *Ceriodaphnia dubia* para água superficial e *Hyalella azteca* para sedimento. Considerou-se como variável-resposta as evidências biológica composta pelos dados de riqueza, índice de Shannon-Weaver, equitatividade e densidade numérica das espécies das comunidades zooplantônica e bentônica. O risco ecológico (Baixo, Médio e Alto) foi caracterizado pela associação à qualidade ambiental (Ótima, Alerta e Crítica), respectivamente, estabelecida pelas linhas de evidência registradas. Os resultados permitem considerar que é possível o uso de programas de monitoramento ambiental para avaliação de risco ecológico, se contiverem, além dos dados químicos e ecotoxicológicos exigidos pela legislação ambiental, dados do monitoramento da biota residente.

Palavras-chave: avaliação de risco ecológico, ambiente aquático, metais, bioindicação, ecotoxicologia.

Protocol for Ecological Risk Assessment in Aquatic Environment considering the Jacuí river environmental Monitoring Program , São Jerônimo (RS)

Abstract

The contribution of this work is to present protocol for ecological risk assessment in an aquatic environment using data derived from environmental monitoring programs. The location focused by this study was a segment of the Jacuí River, in the town of São Jerônimo – RS, Brazil, which was assessed by applying an environmental monitoring program. The line of evidence recorded from the abiotic compartments surface water and sediments was considered an explanatory variable. The chemical evidence stemmed from the presence of Hg, Pb and Zn, while the ecotoxicological evidence resulted from aquatic toxicity tests using *Ceriodaphnia dubia* for surface water and *Hyalella azteca* for sediments. The biological evidence from the Shannon-Weaver index, species richness, equitability and numerical density data in zooplanktonic and benthonic communities was considered the response variable. The ecological risk (Low, Medium, and High) was characterized by the association with environmental quality (Great, Warning, and Critical), established by the lines of evidence recorded. The results have shown that it is possible to use environmental monitoring programs to evaluate of ecological risk assessment, if they have chemical and ecotoxicological data required by environmental laws, and monitoring data of resident biota.

Keywords: ecological risk assessment, aquatic environment, metals, bioindication, ecotoxicology.

INTRODUÇÃO

Os ambientes aquáticos naturais são sistemas abertos e dinâmicos de interações diversas entre seus componentes bióticos e abióticos. Nestes ambientes, os organismos aquáticos podem ser expostos a agentes químicos presentes na água e nos sedimentos, e dessa contaminação podem surgir alterações na biodiversidade aquática, resultando na desestruturação dos ambientes físicos, da dinâmica química e das comunidades biológicas, Callisto *et al.* (2001) e Costa *et al.* (2008).

Os rios recebem materiais, sedimentos e poluentes de toda sua bacia de drenagem, que refletem os usos e a ocupação do solo nas áreas vizinhas. Os principais processos de degradação, resultantes das atividades humanas nas bacias de drenagem, podem causar o assoreamento do leito de rios e córregos, diminuição da diversidade de habitats e eutrofização artificial (Callisto *et al.*, 2002, Goulart & Callisto, 2003).

Avaliar a qualidade ambiental não é uma tarefa simples e programas de monitoramento ambiental têm sido aplicados com este objetivo. Para tal, torna-se necessário a aplicação de instrumentos que integrem na sua avaliação ambiental o efeito na biota causado por agentes químicos. Ensaio de toxicidade aquática e monitoramento da biota residente fornecem as respostas dos organismos frente a estressores ambientais. O biomonitoramento, ou monitoramento biológico, constitui-se como uma ferramenta na avaliação de respostas das comunidades biológicas presentes no ambiente a modificações nas condições ambientais originais (Goulart & Callisto, 2003).

A avaliação de risco é o processo de estimativa de probabilidade de ocorrência de um determinado acontecimento e a provável magnitude de efeitos adversos em termos de segurança, saúde, ecologia ou economia. Já quando se fala de Avaliação de Risco Ecológico (ARE) define-se como a probabilidade condicional da ocorrência de um acontecimento ecológico específico, associado à explicação das suas conseqüências ecológicas; por exemplo, redução de biodiversidade, perda de recursos comerciais importantes ou instabilidade do ecossistema. Na prática, a avaliação de risco ecológico envolve a descrição, quantitativa ou qualitativa, da provável ocorrência de um acontecimento ecológico indesejado (Kolluru & Brooks, 1998). Johnston *et al.* (2002) propõem que as evidências da exposição e seus efeitos definem os níveis de risco e estes podem ser classificados como baixo, intermediário e alto.

Os esquemas de análise de risco são compostos por diferentes etapas que, ao seguirem um processo lógico de implementação, permitem a coleta das informações em etapas, aumento do conhecimento do problema em questão e a tomada de decisão em cada etapa. O modelo conceitual de ARE deve possuir um forte componente de análise de organismos no ambiente e de bioensaios. Estes são fundamentais em todo o processo, pois ao contrário do que ocorre quando se compara com valores de referência de agentes estressores, os ensaios de

ecotoxicidade incorporam a interação entre os contaminantes e, ainda, o efeito da biodisponibilidade, possibilitando avaliação ecologicamente relevante dos efeitos derivados da exposição (Niemeyer *et al.*, 2007).

O objetivo deste trabalho foi aplicar protocolo de avaliação de risco ecológico para ambiente aquático tendo como referência dados provenientes de programas de monitoramento ambiental, usualmente determinados por órgãos de fiscalização ambiental. O cenário investigativo teve como base os dados químicos, ecotoxicológicos e biológicos do monitoramento ambiental do Baixo Jacuí, no município de São Jerônimo, RS, Brasil.

Cenário de exposição

A área da pesquisa localizou-se no Rio Jacuí, município de São Jerônimo, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, mais precisamente na região do Baixo Jacuí.

De acordo com (FEPAM-RS, 2010), a bacia hidrográfica do Rio Jacuí ocupa a área de 71.600 km² e tem a sua nascente no Planalto, que se expande nos municípios de Passo Fundo e Marau. A referida área de drenagem caracteriza-se pelo uso intensivo do solo voltado à agricultura e pecuária. O trecho superior do Rio Jacuí caracteriza-se também pelo aproveitamento energético, onde estão instaladas as Usinas Hidroelétricas de Ernestina, Passo Real, Salto do Jacuí, Itaúba e Dona Francisca. Na área de drenagem da bacia do Jacuí, denominada de Baixo Jacuí, encontram-se aglomerações urbanas com porte significativo e influência das atividades de mineração, beneficiamento e queima de carvão mineral. Torna-se interessante ressaltar que o trecho hídrico avaliado apresenta intensa atividade econômica e diversos usos na sua bacia, sendo que as principais fontes potencialmente poluidoras são: a mineração, transporte e queima de carvão mineral, a siderurgia e o alto crescimento demográfico. A rede de pontos amostrais foi constituída pelas estações identificadas como P1, P2, P3 e P4 (Tabela 1) e apresenta variada distribuição através da área monitorada.

MATERIAL E MÉTODOS

Modelo Conceitual

O protocolo de avaliação de risco ecológico em ambiente aquático foi fundamentado no estabelecido por USEPA (1998) e foi composta pelas quatro etapas a seguir explicadas:

Etapas 1 – Levantamento de dados provenientes de programas de monitoramento ambiental

Os dados foram extraídos dos relatórios dos programas de monitoramento ambiental da região do Baixo Jacuí no município de São Jerônimo – RS e realizados pelo Centro de Ecologia da UFRGS. Neste cenário de exposição, foi necessário investigar quais substâncias químicas presentes

Tabela 1 - Localização dos Pontos Amostrais do Programa de Monitoramento Ambiental do Ambiente Aquático do Baixo Jacuí, São Jerônimo (RS).

Estação Amostral	Coordenadas geográficas	Descrição do Ponto
P1	Rio Jacuí junto à Foz do Arroio do Conde. 424830 mE, 6685440 mN	Drena a região carbonífera à montante com aporte de cargas associadas às atividades de mineração e beneficiamento de carvão mineral.
P2	Rio Jacuí junto à Foz do Arroio da Porteira. 427700 mE, 6684640 mN	Drena área de dispersão de cinzas provenientes da queima de carvão mineral em processo termoeletrico.
P3	Rio Jacuí. 429077 mE, 6685055 mN	Recebe contribuição de efluentes líquidos da atividade de queima de carvão mineral em processo termoeletrico
P4	Rio Jacuí junto à Foz do Arroio Leão. 431200 mE, 6686400 mN	Recebe contribuição de efluentes líquidos de núcleos urbanos.

estavam associadas aos diferentes usos antrópicos da bacia e quais possibilitariam seu uso como indicadores da presença destes impactos ambientais, sendo selecionados os metais Hg, Pb e Zn.

A frequência do monitoramento foi trimestral, num período de 20 meses, com início no mês de março de 2006 e encerramento em novembro de 2007.

A coleta para os ensaios químicos, biológicos e ecotoxicológicos da água superficial e do sedimento foi feita, simultaneamente, por uma equipe no mesmo dia em todos os pontos amostrais do monitoramento. A preservação das amostras para os ensaios foi realizada no próprio local e a seguir foram transportadas para os laboratórios do Centro de Ecologia da UFRGS, responsável pela realização de todas as análises.

As amostras de água superficial foram coletadas diretamente nos frascos de coleta mergulhados a 15 cm de profundidade. Para as amostras de sedimento com fundos moles de material mais fino, utilizou-se o amostrador “mud snapper” do tipo pegador com duas colheres grandes que, mediante mecanismo ativado por uma mola, provocou seu fechamento coletando a camada superficial (Croce *et al.*, 1995). Para os demais casos, utilizou-se a draga de Birge-Ekman. Em laboratório foi realizada a digestão ácida para metais totais em água superficial pelo método analítico Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA), (APHA, 2005) e extração ácida para metais totais na porção fina do sedimento (USEPA 1996). Em ambas matrizes a análise química aplicou o método analítico EAA/Geração de Hidretos para Hg, EAA/Chama Ar – Acetileno para Zn e EAA/Forno de Grafite para Pb, APHA, 2005. Os ensaios ecotoxicológicos foram executados com metodologia da ABNT, 2005(b) para toxicidade com *Ceriodaphnia dubia* nas amostras de água superficial e da ABNT, 2007 para toxicidade com *Hyalella azteca* nas amostras de sedimento.

O Sistema de Qualidade dos Laboratórios de Absorção Atômica e de Ecotoxicologia do Centro de Ecologia foi reconhecido pela Rede Metrológica RS frente à Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, 2005(a). A Garantia da Qualidade nos ensaios de metais consistiu em um controle intralaboratorial com o uso de amostras fortificadas e de Cartas Controle e num controle interlaboratorial através da participação contínua em Ensaio de Proficiência em Análises Ambientais. Os limites de detecção para os ensaios em água superficial foram Pb

(0,010 mg.L⁻¹), Hg (0,200 µg.L⁻¹) e Zn (0,005 mg.L⁻¹) e para os ensaios em sedimento foram Pb (5,0 µg.g⁻¹), Hg (0,034 µg.g⁻¹) e Zn (0,50 µg.g⁻¹). Nos ensaios ecotoxicológicos, o controle da qualidade analítica utilizou Cartas Controle da sensibilidade dos organismos-teste frente a substâncias de referência.

O monitoramento biológico da comunidade zooplancônica foi realizado filtrando-se 300 L de água superficial com auxílio de bomba de sucção, através de rede de plâncton com 65 µm de abertura de malha. As amostras em campo foram fixadas com formol 4% e neutralizadas com bórax a 1%. As análises quantitativas em microscópio óptico binocular e as qualitativas em microscópio estereoscópio. Para a identificação, foram utilizadas as chaves de identificação de Ruttner-Kolisko, (1974), Koste, (1978), Montu & Goeden, (1986).

O monitoramento biológico da comunidade de macroinvertebrados bentônicos foi realizado com draga Petersen, com área de 620,5 cm², ou com draga de Birge-Ekman, com 225 cm² de abertura, de acordo com as características do sedimento, da profundidade e da velocidade da corrente da água em cada ponto amostral. O material coletado foi lavado e fixado em campo. Os organismos foram triados, contados e identificados em microscópio estereoscópico com o uso das chaves de identificação de Bouchard, (2004), Brinckhurst & Marchese, (1989), Epler, (1985), Trivinho-Strixino & Strixino, (1995).

Etapa 2 – Avaliação das linhas de evidência química e ecotoxicológica

A etapa de avaliação das linhas de evidência química e ecotoxicológica iniciou com a aplicação da legislação ambiental pertinente, a Resolução CONAMA n° 357 (Brasil, 2005) para o compartimento água superficial e a Resolução CONAMA n° 344 (Brasil, 2004) para o compartimento sedimentos, que neste caso trata de sedimentos dragados, já que no Brasil há ausência de legislação específica que atribua sobre padrões da qualidade ambiental.

Para a avaliação da linha de evidência química, foi utilizado o conceito de “Unidade Tóxica” (Tarazona *et al.*, 2000), com as seguintes considerações:

A Unidade Potencial Tóxica (UPT) foi obtida pela razão da concentração do metal existente no ambiente monitorado pela concentração do metal estabelecida nas Resoluções CONAMA n° 357 e n° 344. Estabeleceu-se, também, que acima das concentrações definidas por essas Resoluções, poderiam ocorrer

efeitos adversos à comunidade zooplancônica e bentônica. O critério UPT Crônico foi aplicado sempre que ocorreram concentrações de Hg, Pb e Zn superiores ao padrão da qualidade de água classe 2 da Resolução CONAMA nº 357 e acima do nível 1 da Resolução CONAMA nº 344 para sedimentos.

O critério UPT Agudo foi aplicado sempre que ocorreram concentrações de Hg, Pb e Zn superiores ao padrão da qualidade de água classe 3 da Resolução CONAMA nº 357 e acima do nível 2 da Resolução CONAMA nº 344 para metais no sedimento.

Para avaliar a linha de evidência ecotoxicológica, utilizaram-se os testes de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia* e *Hyalella azteca*. Os resultados foram classificados como “efeito agudo”, “efeito crônico” e “sem efeito”, tendo como critério o estabelecido nas Resoluções CONAMA nº 357 e CONAMA nº 344. A Resolução CONAMA nº 357 estabelece como critério de qualidade que águas superficiais classe 1 e 2 não devem apresentar efeito tóxico crônico e que águas classe 3 e 4 não devem apresentar efeito tóxico agudo. A Resolução CONAMA nº 344 estabelece como critério de classificação para sedimentos a serem dragados dois níveis de qualidade, nível 1 do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota e nível 2 do qual se prevê um provável efeito adverso à biota.

Estas considerações e critérios estabeleceram as seguintes considerações:

Amostras de água ou de sedimento que apresentaram toxicidade, seja aguda ou crônica, foram consideradas como “Potencialmente Tóxicas” e amostras que não apresentaram efeito tóxico foram consideradas como “Não Tóxicas”.

Os resultados químicos que deram origem à Unidade Potencial Tóxica (UPT), e ecotoxicológicas, que deram origem ao Indicador de Toxicidade, representaram as “Variáveis-Explicativas” no modelo conceitual proposto.

Etapa 3 – Avaliação da linha de evidência biológica

Para a avaliação biológica, utilizou-se um indicador baseado na metodologia de Karr (1981) e adaptada por Bruschi *et al.* (2000). Para os cálculos deste indicador biológico, em cada ponto amostral, foram utilizados os dados da riqueza de espécies, do índice de diversidade de Shanon-Wiener, da equitatividade de Pielou e da densidade numérica das espécies presentes das comunidades zooplancônicas e bentônicas monitoradas.

As quatro medidas de atributos biológicos foram transformadas em proporções de zero a um através da divisão de seus valores pelo maior valor obtido dentre os pontos amostrais (Bruschi *et al.* 2000). Para a expressão do Indicador Biológico, utilizou-se o agrupamento do tipo somatório para as proporções obtidas em cada ponto amostral.

Os resultados do Indicador Biológico das comunidades zooplancônicas e bentônicas do ambiente aquático constituíram “Variáveis Respostas” do modelo conceitual proposto.

Etapa 4 – Critérios de qualidade ambiental e de risco ecológico associado

Todos os registros resultantes da análise das linhas das evidências químicas, ecotoxicológicas e biológicas foram

usados para avaliar a qualidade ambiental e o risco ecológico associado. Aplicaram-se análises multivariadas pelo programa SPSS versão 13, (Levine, 1991).

Três faixas de qualidade ambiental foram consideradas nesta avaliação: Ótima, Alerta e Crítica.

Os critérios utilizados para o estabelecimento destas faixas de qualidade ambiental para as evidências químicas estão apresentados na Tabela 2. A faixa de qualidade ambiental para as evidências biológicas foi desenvolvida por meio do Indicador Biológico, um atributo numérico que variou de 0 a 4, conforme a Tabela 3, utilizando-se o Método *Ad Hoc*, com a contribuição dos profissionais que participaram do programa de monitoramento ambiental no cenário de exposição.

Na definição das faixas de qualidade ambiental para as evidências ecotoxicológicas, o critério estabelecido foi de qualidade ambiental Crítica para amostras consideradas como potencialmente tóxicas e qualidade ambiental Ótima, para amostras que não apresentaram efeito tóxico.

Desta forma, evidências de risco ecológico associados à faixa Ótima de qualidade ambiental, indicaram um ambiente aquático adequado ao desenvolvimento e proteção das espécies, indicando Baixo risco ecológico. As faixas Alerta e Crítica de qualidade ambiental, representaram um ambiente que está sofrendo impacto negativo na manutenção da biota, com os conseqüentes riscos associados, Médio e Alto, respectivamente. Este modelo seguiu a proposta de interpretação de risco ecológico conforme Johnston *et al.* (2002).

Tabela 2 – Critérios de Qualidade Ambiental para a linha de evidências químicas

Água Superficial			
UPT	Intervalos de Corte	Pontos de Corte	Classe da Qualidade Ambiental
< 0,5	-	Classe 1	Ótima
entre 0,5 e 1,0	-	Classe 2	Alerta
> 1	-	Classe 3 e 4	Crítica
Sedimento			
UPT	Intervalos de Corte	Pontos de Corte	Classe da Qualidade Ambiental
< 0,5	Menor que Nível 1	Nível 1	Ótima
entre 0,5 e 1,0	Nível 1	até Nível 2	Alerta
> 1	Maior que Nível 2	-	Crítica

Tabela 3 – Critérios de Qualidade Ambiental para a linha de evidências biológicas

Indicador Biológico	Classe de Qualidade Ambiental
3 – 4,00	Ótima
2 - 2,99	Alerta
0 - 1,99	Crítica

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa da avaliação, utilizando-se dos registros das concentrações de Hg, Pb e Zn do programa de monitoramento aplicado, determinou-se o valor médio e o desvio padrão para o período monitorado em cada ponto amostral. Os mesmos estão apresentados na Tabela 4, que apresenta também as concentrações estabelecidas pelas Resoluções CONAMA nº 357 e CONAMA nº 344.

O cálculo das Unidades Potencialmente Tóxicas (UPT) foi efetuado para todas as coletas e para todos os pontos amostrais. Estabelecidos estes passos a Figura 1 apresenta os percentuais da frequência das UPT com a correspondente qualidade ambiental, adotando-se o critério previamente estabelecido.

Pela análise das frequências de qualidade ambiental obtidas para água superficial, verificou-se para os metais Hg e Pb um maior percentual de frequências de qualidade ambiental na faixa de Alerta e Crítica. Para o metal Zn em água superficial, verificou-se um percentual maior de frequências na faixa de qualidade Ótima. Já no sedimento, uma maior frequência na faixa de qualidade Alerta e Crítica para os três metais avaliados foi verificada.

A avaliação das evidências ecotoxicológicas foi efetuada para todas as coletas e para todos os pontos amostrais. Estabelecidos estes passos, a Figura 2 apresenta os percentuais da frequência dos efeitos tóxicos apresentados com a correspondente qualidade ambiental, adotando-se o critério previamente estabelecido.

Pela análise das frequências de qualidade ambiental obtida na linha das evidências ecotoxicológicas em água superficial,

Tabela 4 – Teores de Hg, Pb e Zn em águas superficiais e sedimentos do Rio Jacuí, município de São Jerônimo, no período de março de 2006 a novembro de 2007.

Água Superficial	Pontos				CONAMA 357*		
	Metal	P1	P2	P3	P4	Classe 1 e 2	Classe 3
Hg (µg.L-1)		0,228 ± 0,078	0,200 ± 0,000	0,246 ± 0,130	0,231 ± 0,057	0,200	2,00
Pb (mg.L-1)		0,011 ± 0,004	0,015 ± 0,008	0,010 ± 0,000	0,010 ± 0,000	0,010	0,033
Zn (mg.L-1)		0,037 ± 0,020	0,060 ± 0,056	0,051 ± 0,063	0,027 ± 0,011	0,180	5,00
Sedimento					CONAMA 344**		
Hg (µg.L-1)		0,084 ± 0,053	0,093 ± 0,049	0,098 ± 0,088	0,095 ± 0,082	0,170	0,486
Pb (mg.L-1)		41,6 ± 17,3	40,4 ± 21,9	31,8 ± 12,1	29,7 ± 9,62	35,0	91,3
Zn (mg.L-1)		126 ± 31,3	76,4 ± 14,7	76,7 ± 15,0	96,4 ± 33,9	123	315

* Limites máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 357.

** Valores orientadores da qualidade da Resolução CONAMA nº 344.

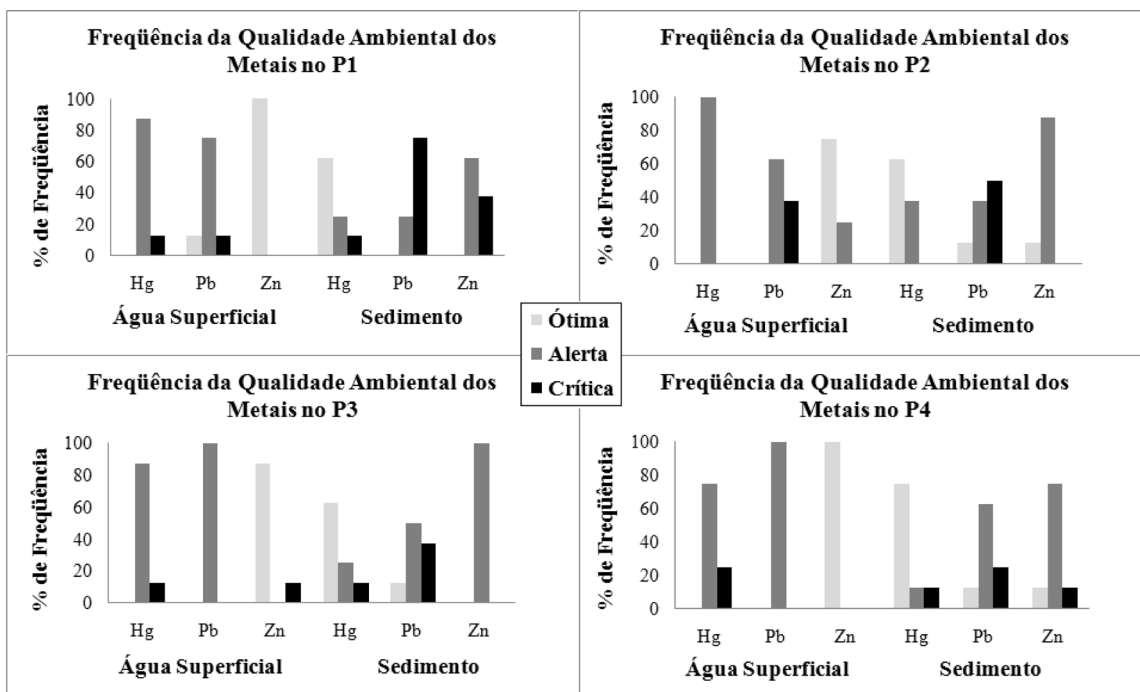


Figura 1 – Histogramas de frequência da Qualidade Ambiental calculada a partir de evidências químicas da presença de Hg, Pb e Zn em Água Superficial e Sedimentos coletados no Rio Jacuí, município de São Jerônimo, no período de março de 2006 a novembro de 2007.

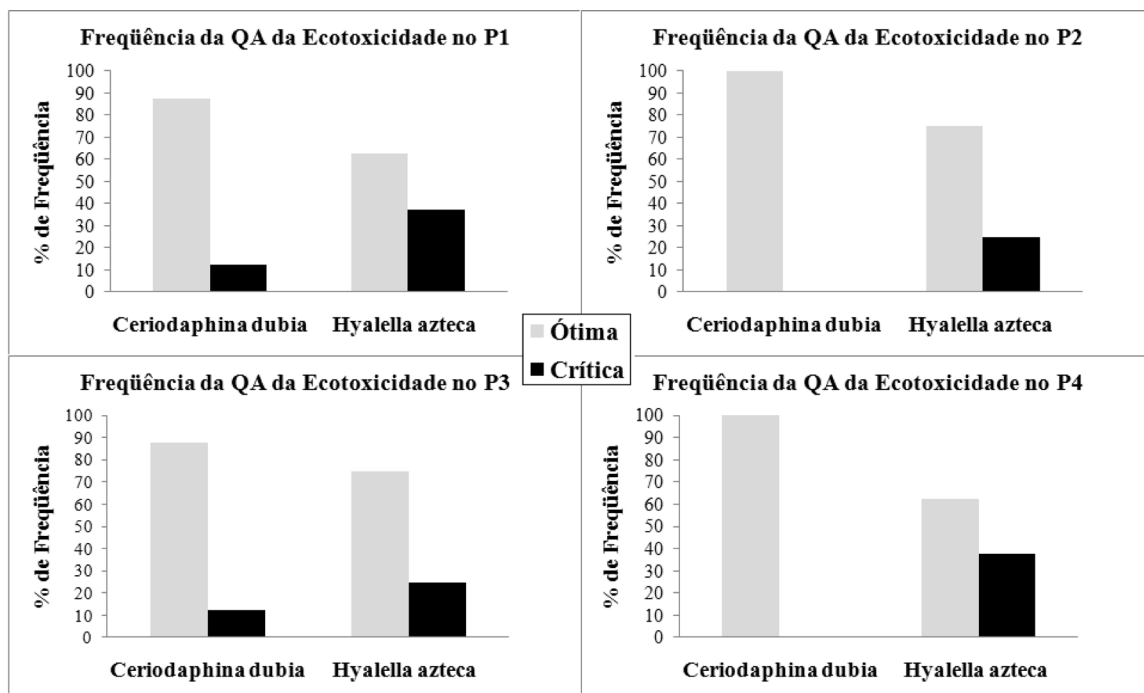


Figura 2 – Histogramas de frequência da Qualidade Ambiental calculada a partir de evidências ecotoxicológicas em Água Superficial e Sedimentos coletados no Rio Jacuí, município de São Jerônimo, no período de março de 2006 a novembro de 2007.

verificou-se um maior percentual de Qualidade Ambiental Ótima. Já nos sedimentos, observou-se um maior percentual na faixa de Qualidade Ambiental Crítica.

A avaliação das evidências biológicas foi efetuada para todas as coletas e para todos os pontos amostrais. Estabelecidos estes passos, as Figuras 3 e 4 apresentam os percentuais da frequência do Indicador Biológico com a correspondente

qualidade ambiental, adotando-se o critério previamente estabelecido, para as comunidades zooplancônicas e bentônicas, respectivamente.

Pela análise das frequências de qualidade ambiental obtidas para a comunidade zooplancônica (Figura 3), verificou-se um maior percentual na faixa de Alerta para os pontos amostrais 1 e 4 e de qualidade Ótima para os pontos amostrais 2 e 3.

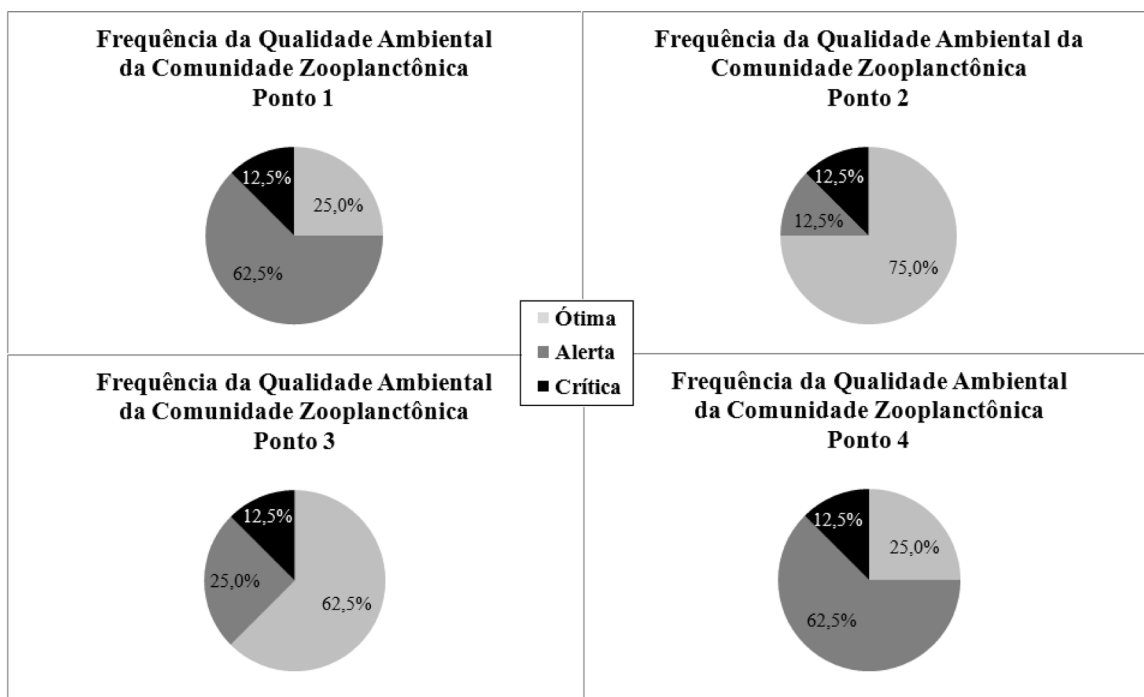


Figura 3 – Histogramas de frequência da Qualidade Ambiental calculada a partir de evidências biológicas da Comunidade Zooplancônica coletada no Rio Jacuí, município de São Jerônimo, no período de março de 2006 a novembro de 2007.

Pela análise das frequências de qualidade ambiental obtidas para a comunidade bentônica (Figura 4), verificaram-se percentuais semelhantes na faixa de Alerta e Ótima para todos os pontos amostrais.

A avaliação de risco ecológico associada às faixas de Qualidade Ambiental obtida nos vários compartimentos foi realizada mediante análise estatística pelos testes de Qui-Quadrado de Independência, Análise de Correspondência e Análise de Componentes Principais.

Em relação à linha de evidências químicas em água superficial (Fig. 5), um primeiro fator relacionado com a presença de Pb e Zn explicou 50% dos casos indicativos de risco ecológico e um segundo fator, relacionado com a presença de Hg, explicou 32% dos casos. Em todos os pontos amostrais, as evidências químicas apresentaram indícios de risco ecológico na faixa Média e Alta. Ao analisar-se o risco ecológico associado ao parâmetro Toxicidade, verificou-se nos pontos amostrais 2 e 4 um indicativo de risco Baixo, sendo que nos demais pontos registrou-se também a indicação de risco Alto. Já a comunidade zooplântônica respondeu a esse potencial estressor com diferentes indicativos de risco associado, apresentando nos pontos 2 e 3 uma maior proporção de risco Baixo, ao contrário dos pontos 1 e 4, que apresentaram maior proporção de risco Médio.

Em relação à linha de evidências químicas em sedimentos (Fig. 6), um primeiro fator relacionado com a presença de Pb explicou 50% dos casos de risco ecológico e um segundo fator, relacionado com a presença de Zn e Hg, explicou 34% dos casos. A presença de Pb associou uma maior proporção de risco ecológico nas faixas Médio e Alto nos pontos 2 e 3, já a presença de Hg e Zn associa um maior indicativo de risco

Alto ao ponto 1. Ao analisar-se o risco ecológico associado ao Indicador de Toxicidade, verificou-se em todos os pontos o registro de risco Alto com maior proporção nos pontos 1 e 4. Já a comunidade bentônica respondeu a esse potencial estressor com diferentes indicativos de risco associado, apresentando em todos os pontos uma pequena proporção de risco Alto, que aumentou no ponto 4.

Constatou-se que a linha investigativa das evidências químicas, quando comparada às linhas das evidências ecotoxicológicas e biológicas, apresentou indícios de maior risco ecológico para os dois compartimentos ambientais (água superficial e sedimentos).

Uma das causas desta constatação pode estar fortemente relacionada com a metodologia analítica utilizada no cálculo das UPT, que considerou a fração de metais totais presentes em água e sedimento, não avaliando, dessa forma, a biodisponibilidade destes metais para o ambiente investigado. A utilização da fração metais totais foi determinada pelos registros disponíveis no programa de monitoramento ambiental, que, necessariamente, deve atender as determinações das Resoluções CONAMA nº 357 e CONAMA nº 344, que consideram a avaliação de metais totais como referência. Cabe ressaltar também que os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 344 tiveram como referência os valores-guia publicados pela agência ambiental canadense (BRASIL, 2004). Enquanto que, na referência canadense, a metodologia adotada é uma digestão suave dos sedimentos (Silvério *et al.* 2006), a metodologia adotada pela Resolução CONAMA nº 344 é de uma digestão fortemente ácida. Isto tornou os valores orientadores da Resolução CONAMA nº 344 bem mais rigorosos e conservativos.

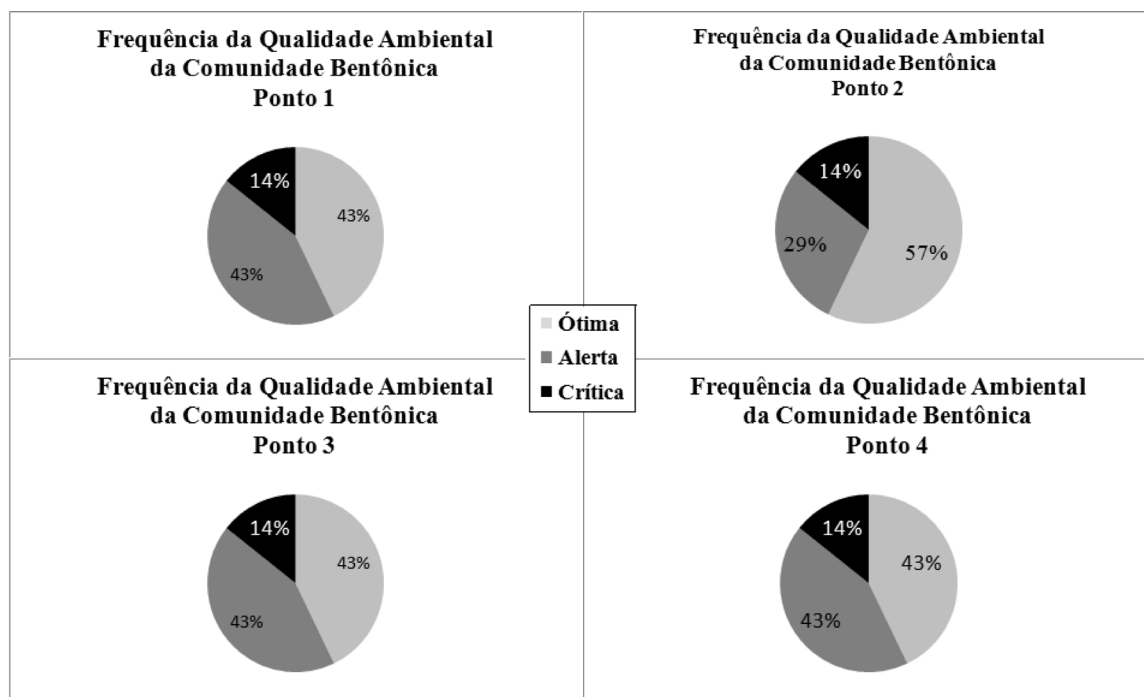


Figura 4 – Histogramas de frequência da Qualidade Ambiental calculada a partir de evidências biológicas da Comunidade Bentônica coletada no Rio Jacuí, município de São Jerônimo, no período de março de 2006 a novembro de 2007.

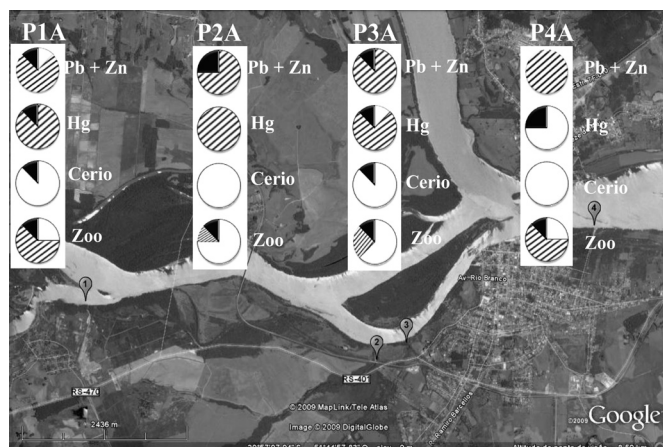


Figura 5 - Risco Ecológico em Água Superficial do Rio Jacuí, município de São Jerônimo, no período de março de 2006 a novembro de 2007.

Legenda:

(P1A) Ponto 1, (P2A) Ponto 2, (P3A) Ponto 3 e (P4A) Ponto 4
 (Zoo) Comunidade Zooplancônica e (Cerio) *Ceriodaphnia dubia*
 (Branco) Risco Ecológico Baixo
 (Achurado) Risco Ecológico Médio
 (Preto) Risco Ecológico Alto

Cabe ressaltar também que os ensaios químicos e de toxicidade efetuados em água superficial e sedimento foram realizados em amostras instantâneas que refletem o momento da coleta, já os atributos biológicos analisados na biota residente refletiram todo o período de impacto histórico, o que pode levar a diferentes respostas na indicação de risco ecológico associado às diferentes linhas de evidência. Como forma de melhor associação dos resultados entre as linhas de evidência, a investigação dos dados químicos e de toxicidade nos sedimentos deveria ter sido também efetuada em amostras de água intersticial, que representou a fração verdadeiramente dissolvida e portanto biodisponível dos contaminantes presentes (Mozeto, 2006), entretanto, esta análise raramente é solicitada nos programas usuais de monitoramento ambiental.

Considera-se que a ARE é um instrumento fundamental para viabilizar os processos de decisão em torno da gestão de ambientes, pois permite uma avaliação mais precisa e adequada dos riscos reais aos receptores ecológicos potencialmente afetados pelos contaminantes presentes. Seguindo essa abordagem, o protocolo estabelecido de ARE, tendo como base dados de programas de monitoramento, foi capaz de avaliar o risco ecológico de ambientes aquáticos com contaminação histórica, através das linhas de evidências químicas, biológicas e ecotoxicológicas, e, no conjunto obteve-se uma visão integrada da qualidade ambiental apresentada.

CONCLUSÕES

O estabelecimento do protocolo de ARE proposta no ambiente aquático avaliado mostrou que a linha de evidências químicas caracterizou um cenário de exposição nas faixas de risco ecológico Médio e Alto com maior frequência, quando comparados aos riscos ecológicos associados às linhas das evidências ecotoxicológicas e biológicas. Ressaltamos

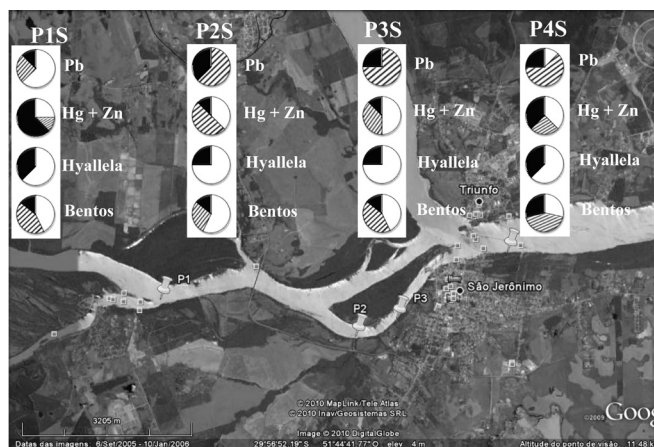


Figura 6 - Risco Ecológico em Sedimentos do Rio Jacuí, município de São Jerônimo, no período de março de 2006 a novembro de 2007.

Legenda:

(P1S) Ponto 1, (P2S) Ponto 2, (P3S) Ponto 3 e (P4S) Ponto 4
 (Zoo) Comunidade Zooplancônica e (Hyallela) *Hyallela azteca*
 (Branco) Risco Ecológico Baixo
 (Achurado) Risco Ecológico Médio
 (Preto) Risco Ecológico Alto

como relevante o fato de que no estabelecimento da linha de evidências químicas não tenha sido considerada a fração de metais biodisponíveis para o ambiente. Desta forma, ao usar dados de programas usuais de monitoramento aquático para análise de risco ecológico, deve-se considerar que a linha de evidências químicas poderá levar a cenários mais conservativos.

REFERÊNCIAS

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 2005(a). *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. NBR ISO/IEC 17025:2005. Rio de Janeiro, 2005. 31p.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 2005(b). *Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com Ceriodaphnia spp (Crustacea, Cladocera)*. NBR 13373/05.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS), 2007. *Ecotoxicologia aquática – Toxicidade em sedimento – Método de ensaio com Hyallela spp (Amphipoda)*. NBR 15470.
- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION), 2005. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC. 21st ed.
- BOUCHARD, R.W. Jr., 2004. *Guide to Aquatic Invertebrates of the Upper Midwest. Identification Manual for Students, Citizen Monitors, and Aquatic Resource Professional*. University of Minnesota, 207p.
- BRASIL, 2004. Resolução nº 344, 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras e da outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 07 de maio 2004.
- BRASIL, 2005. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 de março 2005, pp. 58-63.

- BRINCKHURST, R. O. & MARCHESE, M. R., 1989, *Guide of Aquatic Oligochaeta of Sul and Central America*. Colec. Climax, Santa Fé, Argentina, 186p.
- BRUSCHI Jr, W., MALABARBA, L. R. & SILVA, J. F. P., 2000, Avaliação da qualidade ambiental de riachos através das taxocenoses de peixes. In: *Carvão e Meio Ambiente*, Centro de Ecologia, UFRGS. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS.
- CALLISTO, M., MORETTI, M. & GOULART, M. D. C., 2001, Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Rev. Brás. de Recursos. Hídricos*, 6: 71-82.
- 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 Brasiliensia*, 13: 91-98.
- COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. 2008. A Toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Quim. Nova*, 31(7): 1820-1830,
- CROCE, N. D.; CONNELL, S. & ABEL, R. (ed). 1995. Coastal Ocean Space Utilization III. E & FN Spon, Chapman & Hall, London, 639 p.
- EPPLER, J. H., 1995, *Identification Manual for the larval Chironomidae (Diptera) of Florida*. 2nd ed, Department of Environmental Regulation, Tallahassee, 565p.
- FEPAM-RS, 2010, Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp. Acesso em: 06 abril 2010.
- GOULART, M. & CALLISTO, M., 2003, Bioindicadores da qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FEPAM*, ano 2, nº 1.
- JOHNSTON, R. K., MUNNS, W. R., TYLER, P. L., MARAJH-WHITEMORE, P., FINKELSTEIN, K., MUNNEY, K., SHORT, F. T., MELVILLE, A. & HAHN, S. P., 2002, Weighing the evidence of ecological risk from chemical contamination in the estuarine environment adjacent to the Portsmouth Naval Shipyard, Kittery, Maine, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21: 182-194. doi: 0730-7268/02.
- KARR, J. R., 1981, Assesment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6: 21-27.
- KOLLURU, R. V. & BROOKS, D. G., 1998, Evaluación de riesgos integrada y administración estratégica. In: KOLLURU, R. V.; BARTELL, S. M.; PITBLADO, T. M.; STRICOFF, R. S. (Ed.). *Manual de evaluación y administración de riesgos*. McGraw-Hill.
- KOSTE, W., 1978, Rotatoria; Die Radertiere Mitteleuropas Ein Bestimmungswerk Begründet von Max Voigt. *Überordnung Monogonnta*, 2. Aul. Berlin: Gebrüder Borntraeger. 637p.
- LEVINE, G., 1991, *A guide to SPSS for analysis of variance*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, USA, 158p.
- MONTU, M., & GOEDEN, I. M., 1986, Atlas dos Cladocera e Copepoda (Crustacea) do estuário da lagoa dos Patos (Rio Grande, Brasil). *Nerítica*, Pontal do Sul, PR 1: 1-134.
- MOZETO, A. A. 2006. Coleta de sedimentos de ambientes aquáticos continentais, extração de águas intersticiais e determinação granulométrica. In: MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. *Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce*. Ed. Cubo, p.25-35.
- NIEMEYER, J. C., SILVA, E.M & SOUSA, J. P., 2007, Desenvolvimento de um esquema de avaliação de risco ecológico em ambientes tropicais: estudo de caso da contaminação por metais em Santo Amaro da Purificação, Bahia, Brasil. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.*, 2: 263-267.
- PASTOROK, R. A., 2003, Introduction: improving chemical risk assessment through ecological modeling. *Human and Ecological Risk Assessment*, 9: 885-888. doi: 10.1080/713610014.
- RUTTNER-KOLISKO, A., 1974, Plankton rotifers. *Biology and Taxonomy*, English translation of Die Binnengewässer v. 26, part 1. 146p. DM46. 80.
- SILVÉRIO, P. F.; NASCIMENTO, M. R. L. & MOZETO, A. A. 2006. Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos de Ambientes Aquáticos Continentais e Valores de Referência de Metais e Metalóides em Sedimentos. In: MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. *Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce*. Ed. Cubo, p. 71-89.
- SOUSA, J., 2005, Avaliação retrospectiva do risco ambiental: esquema de avaliação de risco para solos contaminados. In: I. Abrantes & S. Santos (eds), *Manual Prático para a Gestão Ambiental*. Verlag Dashofer, Lisboa, 8.3.
- TARAZONA, J. V., FRESNO, A., AYCARD, S., RAMOS, C., VEGA, M. M. & CARBONELL, G., 2000, Assessing the potencial hazard of chemical substances for the terrestrial environment. Development of hazard classification criteria and quantitative environmental indicators. *The Science of the Total Environment*, 247: 151-164. doi: S0048-9697(99)00487-8.
- TRILVINHO-STRIXINO, S. & STRIXINO, G., 1995, Larvas de Chironomidae do Estado de São Paulo. *Guia de identificação e diagnose dos gêneros*. São Carlos: PPGERN/RelaUFSCar, 229p.
- USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1998. *Guidelines for ecological risk assessment*. EPA 630/R-95/002F.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). Method EPA3052. 1996. *Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices*. CD-ROM. 20p.