

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA,
CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE

Dissertação de Mestrado

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM UM RESERVATÓRIO
TROPICAL EM DIFERENTES ESCALAS ESPACIAIS

LETÍCIA DE MORAIS

Belo Horizonte,
25 de março de 2013

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM UM RESERVATÓRIO
TROPICAL EM DIFERENTES ESCALAS ESPACIAIS**

Letícia de Moraes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Callisto - UFMG

Co-orientadora: Prof. Dr. Joseline Molozzi - UEPB

Belo Horizonte,
25 de março de 2013

Financiamentos:



Apoios e Colaborações:



AGRADECIMENTOS

Durante essa etapa da vida, caracterizada por mudanças e desafios, foram muitas as pessoas que me ajudaram e tiveram participação fundamental para que este trabalho fosse realizado. Gostaria de dedicar a cada uma delas todas as palavras que merecem, o que seguramente, de tão extenso, não caberia numa dissertação. Tudo o que aprendi e alcancei até agora devo a essas pessoas. A todas elas uma palavra exprime meu sentimento: Gratidão!

Inicialmente gostaria de agradecer à CEMIG – Programa Peixe Vivo pelo financiamento do projeto IBI, à CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG pelos apoios financeiros e pela bolsa de mestrado.

À Prof^a. Valéria Fernandes, ao Dr. Tales Heliodoro Viana e ao Prof. José Fernandes Bezerra Neto por terem aceitado o convite de compor a banca avaliadora.

Ao Prof. Marcos Callisto pela orientação, apoio, pela recepção no Laboratório de Ecologia de Bentos e por todas as oportunidades concedidas, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigada por tudo que aprendi com você Marcos!

À Prof^a. Joseline Molozzi pela co-orientação e apoio, pelo carinho e atenção. Por querer sempre o meu melhor e estar ao meu lado sempre que precisei. Por ter caminhado junto comigo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela dedicação e por todos os ensinamentos durante o mestrado.

A todos os colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG (Ana, Cíntia, Déborah, Diego Castro, Diego Macedo, Gisele, Hanna, Isa, Katiene, Kelé, Ju, Lary, Rafa, Rapha, Wandinho e Taynan) pelo apoio nos trabalhos de campo, processamento de amostras, análises de dados e discussão dos resultados. Obrigada queridos amigos, por terem feito meu dia-a-dia mais divertido e por terem me acolhido tão bem no laboratório.

Às meninas dos reservatórios Bárbara, Isa e Rafa, pela parceria em todas as análises, discussões e momentos divertidos durante os trabalhos e fora da Universidade. E por representarem o sentido da palavra equipe. Não teria sido tão divertido e prazeroso sem vocês, Fias!

Ao MSc. Carlos Bernardo Mascarenhas Alves (Cacazinho) por todos os momentos de descontração, pelas risadas e pelo carinho com que me recebeu no laboratório. E claro, pelos conselhos mais engraçados de fim do dia (“Não converse com estranhos, não aceite nada de ninguém!”).

Ao MSc. Diego Macedo, meu agradecimento especial pela elaboração do mapa da área de estudo, auxílio na avaliação do uso e ocupação do solo e pelas discussões das análises estatísticas. Diegão, obrigada por tudo isso e por ter se tornado um amigo querido!

À MSc. Bárbara Sanches, por ter me apoiado em todas as etapas das análises de dados, pela imensa boa-vontade, por estar perto sempre que precisei, e por ter se tornado uma amiga tão querida sem que pudesse perceber. Pra não perder o costume: Brigadão, Fia!

Ao Prof. Gilmar Bastos Santos (Gil), meu agradecimento especial por toda a disposição em me receber na PUC-Minas e pelo auxílio nas análises estatísticas e na discussão dos resultados.

Aos Profs. Pedro Eisenlohr, Robert M. Hughes, Philip R. Kaufmann e José Fernandes Bezerra Neto pelos auxílios nas análises de dados e discussão dos resultados.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela companhia e amizade. Por se tornarem inesquecíveis, pelas gargalhadas, e por termos feito o melhor curso de campo do mundo! E claro, por terem feito do mestrado uma etapa única! ECMVSs, sem vocês nada disso teria sentido!

Aos secretários do curso Frederico e Cristiane por todo o apoio administrativo, pelo carinho e amizade, e por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos amigos da UEPB e do Laboratório de Ecologia Aquática, pela recepção e por todo o carinho sempre (em especial Evaldo, Dani, Raiane Morena, Shakira e Prof. Etham).

A todos os amigos de Vitória, por me apoiarem e darem força, mesmo de longe. À Fernanda (Fefezuda), Mari, Victor (Podrão), Arturo, Ju, Isael, Mel, Josélia (Jô) e André (Dé). Encontrar vocês nas voltas a Vitória é sempre uma diversão!

Aos queridíssimos amigos do Laboratório de Malacologia da UFES: Danizinha, Felipe, Cíntia, Gabi e Vini, por nunca deixarmos de ser equipe. À Mercia Costa (Chefa), por ter me ensinado os primeiros passos na Biologia e por ter me incentivado a vir para BH.

Aos professores da Biologia/UFES. Especialmente à Prof^a. Valéria Fernandes (Val), por nos inspirar a trabalhar com paixão à Biologia e com profissionalismo.

A todos os amigos de Belo Horizonte (Renata, Rafa, Sacha, Lu e Stellinha). Meu agradecimento especial à Renata por ter me recebido de braços abertos, e por todo o incentivo sempre! Por ser uma irmã pra mim. Rê, obrigada por tudo!

À galera desassombrada (Nique, Germanê, João, Line, Lauriê), por terem se tornado uma família aqui. Pela amizade sincera, e que mesmo com a distância permanece forte.

À minha família, por todo o apoio, pela preocupação e por estarem sempre presentes. Ao meu irmão Vinícius pelo carinho e por todo apoio logístico em Belo Horizonte. Às primas Ana e Gabi pela companhia e amizade.

À minha mãe, meu agradecimento maior! Por todo o esforço e por se doar tanto pelos filhos. Por ser sempre exemplo de força e garra. Pela confiança, amor e apoio incondicionais, sem os quais eu não teria chegado até aqui. Mãe, tudo que eu fiz (e faço) é por você!

A todos que de alguma maneira colaboraram com a elaboração desta dissertação,
MUITO OBRIGADA!

E que venham novas aventuras!!!

RESUMO

Reservatórios são componentes da paisagem que representam uma categoria distinta de ecossistemas aquáticos, pois promovem alterações consideráveis no regime hidrológico e na dinâmica ecológica de rios e suas bacias hidrográficas. O objetivo deste trabalho foi avaliar cenários de condições ambientais em um reservatório tropical em diferentes escalas espaciais, considerando aspectos do uso e ocupação do solo (macroescala), características de habitats físicos (mesoescala) e variáveis limnológicas (microescala) como preditores de condições que potencialmente influenciam a comunidade de macroinvertebrados bentônicos. Foi avaliada também a estimativa de riqueza de *taxa* de macroinvertebrados bentônicos para dois tipos de amostradores (draga de Eckman-Birge e *kicking-net*). Esta dissertação é composta por dois capítulos que descrevem os resultados de amostragens em 40 sítios amostrais do reservatório de Três Marias, pertencente ao trecho alto da bacia hidrográfica do rio São Francisco, Minas Gerais. O capítulo 1 refere-se a um manuscrito de divulgação, e contém os resultados principais desse estudo apresentados de maneira simplificada, para que sejam divulgados à sociedade em geral. O capítulo 2 foi redigido na forma de um manuscrito científico, e contém resultados da aplicação de diferentes escalas espaciais na classificação de sítios amostrais quanto a níveis de distúrbios antrópicos e a influência sobre a comunidade bentônica no reservatório. Os resultados dessa avaliação indicaram que o reservatório de Três Marias é composto por sítios amostrais com baixo, médio e alto distúrbios em macro e mesoescalas. Por outro lado, o reservatório é homogêneo em microescala. As estimativas de riqueza de *taxa* indicaram que as coletas com draga de Eckman-Birge e *kicking-net* apresentaram estimativas de riqueza semelhantes quanto ao número de famílias de macroinvertebrados bentônicos. Não foram encontradas relações significativas entre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos e a divisão em grupos de distúrbios em macro e mesoescala. Dessa forma, é possível que outros fatores tenham influenciado a comunidade bentônica na região litorânea do reservatório, como a depleção no nível de água na margem do reservatório durante a estação seca. Os resultados desta dissertação evidenciam a necessidade de se realizar avaliações de qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos artificiais, considerando os impactos gerados por seus múltiplos usos em diferentes escalas espaciais.

Palavras-chave: Qualidade ambiental, escalas espaciais, macroinvertebrados bentônicos, reservatório, bioindicadores, habitats físicos.

ABSTRACT

Reservoirs are components of the landscape that represent a distinct category of freshwater ecosystems, because they promote considerable changes in the hydrological regime and in the ecological dynamic of rivers and their watersheds. The overall goal of this work was to assess scenarios of environmental conditions in a tropical reservoir at different spatial scales, considering the land use and occupation of soil (macroscale), physical habitat characteristics (mesoscale) and limnological parameters (microscale) as predictors of conditions that potentially influence the benthic macroinvertebrate community. The estimate of *taxa* richness of benthic macroinvertebrates was evaluated for two types of samplers (Eckman-Birge dredge and kicking-net). This dissertation is composed of two chapters that describe the results of sampling at 40 sampling sites from a reservoir belonging the upper part of the São Francisco river basin, Minas Gerais, Brazil. Chapter 1 refers to a manuscript of disclosure, and contains the main results of this study presented in a simplified way, to be disseminated to the wider society. The chapter 2 was written as a scientific manuscript, and contains results of the applying of different spatial scales in the classification of sampling sites regarding levels of human disturbance and the influence on the benthic community in the reservoir. The results of this evaluation indicated that Três Marias reservoir is composed of sampling sites of low, medium and high disturbance on macro and mesoscales. However, the reservoir is homogeneous in microscale. The estimate of *taxa* richness indicated that the sampling with Eckman-Birge dredge and kicking-net exhibited similar estimates for families of benthic macroinvertebrates. There were no significant relationships between the benthic macroinvertebrate community and the division into groups in macro and mesoscale disturbances. Thus, is possible that other factors influenced the benthic community in the littoral zone of the reservoir, as the depletion in water level on the margin of the reservoir during the dry season. The results of this work highlight the need to conduct assessments of environmental quality in freshwater artificial ecosystems considering the impacts generated by its multiple uses in different spatial scales.

Keywords: Environmental quality, spacial scales, benthic macroinvertebrates, reservoir, bioindicators, physical habitats.

SUMÁRIO

Introdução geral.....	1
Capítulo 1	
Cenários de qualidade ambiental em um reservatório tropical brasileiro	
Reservatórios: funções múltiplas <i>versus</i> impactos ao meio ambiente	4
Cenários de qualidade ambiental em reservatórios como ferramenta de avaliação ambiental.....	5
Avaliação de cenários de qualidade ambiental em um reservatório tropical brasileiro: estudo de caso.....	7
Considerações finais e recomendações.....	11
Sugestões de leitura.....	11
Capítulo 2	
Avaliação de condições ambientais em um reservatório tropical em diferentes escalas espaciais	
Resumo.....	13
Introdução	15
Metodologia.....	16
Análise dos dados	21
Resultados	26
Discussão	34
Conclusão	39
Referências bibliográficas	40
Conclusões.....	48
Perspectivas futuras.....	48
Referências bibliográficas	49
Anexo 1.....	52
Anexo 2.....	53

INTRODUÇÃO GERAL

As implicações da deterioração ambiental dos ecossistemas têm servido de alerta para a população, e numerosos esforços têm sido realizados para minimizar efeitos negativos e melhorar o quadro ambiental do planeta, por exemplo, nos Estados Unidos e em países da Europa Ocidental (Godoi *et al.*, 2003). Até o início da década de 1980 as avaliações de qualidade de ecossistemas aquáticos constituíram-se predominantemente por mensurações de variáveis físicas e químicas (Oberdorff & Hughes, 1992). No entanto, abordagens posteriores baseadas em uma visão sistêmica da qualidade ambiental têm procurado integrar aspectos físicos, químicos e biológicos (Barbour *et al.*, 1999), permitindo uma caracterização mais completa das condições ecológicas dos ecossistemas (Callisto *et al.*, 2004).

Os reservatórios são ecossistemas aquáticos artificiais com funções de geração de energia elétrica, abastecimento, irrigação, navegação, controle de enchentes e outros fins (Tundisi, 2006). Considerando os múltiplos usos dos reservatórios, para a conservação de sua qualidade é fundamental o monitoramento permanente da qualidade da água (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). Entretanto, a necessidade de regulação do fluxo de água de reservatórios de acordo com a demanda energética ou outras demandas antrópicas altera o nível, a profundidade e o tempo de residência da água, e influencia atributos químicos, físicos e biológicos do ecossistema (Ribeiro-Filho *et al.*, 2011). Dessa maneira, a construção de reservatórios produz numerosos impactos nos sistemas terrestres e aquáticos em sua bacia hidrográfica (Tundisi, 1999), como perda de áreas alagadas, perda da biodiversidade de rios, modificações na composição química da água (montante e jusante), redução no fluxo das águas e degradação de sua qualidade (Straskraba & Tundisi, 2000). O conhecimento científico dos reservatórios como ecossistemas e as interações com outros ecossistemas a montante e jusante em suas bacias hidrográficas têm acrescentado novas dimensões à abordagem sistêmica na pesquisa ecológica. Essa nova perspectiva oferece bases conceituais para o gerenciamento da qualidade da água, avaliação de bens e serviços ecológicos e gestão sustentável de bacias hidrográficas (Tundisi, 1999).

Uma importante abordagem na avaliação de qualidade ambiental de ecossistemas é a caracterização da diversidade de habitats físicos. Em um sentido amplo, habitats físicos incluem todos os atributos estruturais que influenciam ou proveem a manutenção de organismos em um corpo d'água (USEPA, 2002). A

diminuição da diversidade de habitats físicos pode levar à simplificação das comunidades de organismos aquáticos (Busch & Lary, 1996). Portanto, a caracterização de habitats físicos constitui-se em uma ferramenta útil para avaliar a influência sobre a biota aquática e para interpretar as modificações decorrentes de alterações ambientais (Gerritsen *et al.*, 1998). Além disso, constitui uma etapa importante na manutenção da qualidade ambiental de corpos d'água, visto que i) facilita a interpretação de dados biológicos ii) fornece informações de estressores não químicos e iii) subsidia decisões fundamentadas sobre identificação de problemas ambientais e restauração de ecossistemas (USEPA, 2002).

Alterações nos habitats físicos são consideradas, portanto, como fatores estressores de ecossistemas aquáticos (Karr *et al.*, 1986), pois os habitats incorporam aspectos físicos e químicos às interações bióticas (Barbour *et al.*, 1999). Entre os organismos aquáticos, os macroinvertebrados bentônicos são reconhecidamente importantes indicadores de degradação ambiental (Wallace & Webster, 1996). Esses organismos podem ser utilizados como ferramenta para a avaliação da qualidade e saúde de ecossistemas a partir da avaliação de sua biodiversidade (Callisto *et al.*, 2001). Em concordância, Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) afirmam que pela capacidade de resposta a fatores ambientais e pelo fato de estarem localizados nos substratos de fundo, os macroinvertebrados bentônicos são excelentes indicadores das condições ambientais e da contaminação ou poluição de rios, riachos, lagos e represas.

Segundo O'Neill *et al.* (1997), algumas das mudanças ambientais mais importantes ocorrem na escala espacial da paisagem. Os ecossistemas podem ser estudados em uma ampla gama de escalas espaciais (Tansley, 1935), e o seu funcionamento depende de processos que ocorrem num intervalo de pequenas (p. ex. relações entre indivíduos) a grandes escalas (p. ex. processos climáticos ou geomorfológicos) (Hein *et al.*, 2006). A possibilidade de prever como variáveis ecológicas mudam ao longo de múltiplas escalas é fundamental para a interpretação de informações em escalas maiores, e para comparar dados mensurados em diferentes regiões (Turner *et al.*, 1989).

Considerando a importância de se avaliar distúrbios em ecossistemas aquáticos artificiais em diferentes escalas espaciais, este estudo apresenta uma avaliação de qualidade ambiental de um reservatório em macro, meso e microescalas. Esta dissertação é composta por dois capítulos, sendo um manuscrito de divulgação e outro científico. O capítulo 1 é intitulado “Cenários de qualidade ambiental em um

reservatório tropical brasileiro”. Esse capítulo foi redigido de maneira simplificada com os principais resultados desta dissertação, a fim de possibilitar que os dados deste trabalho sejam divulgados à sociedade em geral. O capítulo 2 é intitulado “Avaliação de condições ambientais em um reservatório tropical em diferentes escalas espaciais”. Esse capítulo foi redigido na forma de um manuscrito científico, e contém resultados da aplicação de diferentes escalas espaciais na classificação de sítios amostrais quanto a níveis de distúrbios antrópicos. Essa abordagem foi utilizada a fim de avaliar se a comunidade de macroinvertebrados bentônicos se distribui na região litorânea do reservatório de acordo com diferentes níveis de distúrbios.

Esta dissertação foi elaborada a partir da seguinte pergunta: “As condições de qualidade ambiental (uso e ocupação do solo, métricas de habitats físicos e variáveis limnológicas) dos sítios amostrais na região litorânea do reservatório influenciam a estrutura e composição das comunidades bentônicas?”. Foi testada a hipótese de que diferentes condições de qualidade ambiental são observadas ao avaliar os sítios amostrais em macro (uso e ocupação do solo), meso (métricas de habitats físicos) e microescalas (variáveis limnológicas), influenciando a estrutura e composição de comunidades bentônicas. Foram testadas as seguintes predições: i) Em boas condições de qualidade ambiental (baixo distúrbio) a riqueza de macroinvertebrados bentônicos é maior, e em más condições de qualidade ambiental (alto distúrbio) observam-se menor riqueza de macroinvertebrados bentônicos e a presença de espécies exóticas. ii) As atividades antrópicas no entorno do reservatório favorecem a ocorrência de diferentes níveis de distúrbios entre os sítios amostrais em cada escala. iii) A classificação em níveis de distúrbios de cada sítio amostral é distinta entre macro, meso e microescalas.

Esta dissertação faz parte de uma rede de colaboração entre pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas) e Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), com o apoio de pesquisadores da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e da Universidade do Estado do Oregon (OSU). Essas instituições possuem uma parceria em um amplo projeto de pesquisa onde este estudo está inserido, denominado “*Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica para avaliação de qualidade ambiental e restauração de habitats em áreas de soltura de alevinos*”, financiado pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Programa Peixe Vivo.

CAPÍTULO 1
**CENÁRIOS DE QUALIDADE AMBIENTAL EM UM RESERVATÓRIO
TROPICAL BRASILEIRO**

Morais, L.¹, Sanches, B. O.², Santos, G. B.², Kaufmann, P. R.³, Hughes, R. M.³,
Mollozi, J.⁴ & Callisto, M.¹

¹ Laboratório de Ecologia de Bentos – ICB/UFMG. CP. 486. CEP 30.161-970, Belo Horizonte (MG), Brasil

² Programa de Pós- Graduação em Zoologia de Vertebrados - PUC Minas. Avenida Dom José Gaspar, 500. CEP 30.535-610, Belo Horizonte (MG), Brasil

³ Department of Fisheries & Wildlife, Oregon State University, 200 SW 35th St. OR 97333, USA.

⁴ Laboratório de Ecologia de Bentos – ICB/UEPB. Rua Baraúnas, 352, Bairro Universitário. CEP 58.429-500, Campina Grande (PB), Brasil.

Reservatórios: funções múltiplas *versus* impactos ao meio ambiente

A percepção da importância da natureza sobre a vida humana remonta ao aparecimento dos primeiros seres humanos, que necessitavam conhecer locais para alimentação, dessedentação e abrigo, a fim de garantir a própria sobrevivência. As primeiras cidades desenvolveram-se principalmente ao longo de rios e no entorno de lagos. As primeiras barragens datam de pelo menos 5.000 anos, segundo registros arqueológicos realizados no Oriente Médio. A construção de barragens foi intensificada mundialmente no século passado, havendo atualmente mais de 45.000 grandes barragens em todo o mundo, cerca de 3.500 no Brasil. O processo de barramento de um rio modifica atributos físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas. Essas modificações são tão expressivas que fazem com que um novo e mais simplificado ecossistema resulte do represamento da água, dando origem a um reservatório. Esses ecossistemas aquáticos artificiais desempenham múltiplas funções, como geração de energia elétrica, abastecimento, irrigação, controle de enchentes, navegação, pesca, turismo e recreação.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), o volume de água doce no Brasil representa cerca de 12% da disponibilidade no planeta, sendo os reservatórios

artificiais elementos estratégicos na distribuição de água no país, principalmente em áreas submetidas a maiores períodos de seca, como no nordeste brasileiro. Entretanto, os múltiplos usos de bacias hidrográficas fazem com que os reservatórios estejam sujeitos a numerosos impactos antrópicos, em diferentes escalas espaciais. A instalação desses empreendimentos causa alterações em comunidades biológicas diminuindo a biodiversidade aquática, reduz a conectividade de rios como corredores ecológicos e fragmenta bacias hidrográficas, altera o fluxo de água e reduz a amplitude de pulsos de inundação, modifica a composição química da água a montante e a jusante de barramentos e causa a perda da qualidade da água e da qualidade ambiental. Diante disso, o funcionamento de reservatórios pode tanto trazer benefícios à sociedade quanto causar impactos ao meio ambiente, o que torna fundamental a realização de avaliações da qualidade ambiental desses ecossistemas.

Cenários de qualidade ambiental em reservatórios como ferramenta de avaliação ecossistêmica

Avaliar a qualidade de água, a biodiversidade e a integridade ambiental são aspectos importantes para a gestão de ecossistemas aquáticos em baixo estado de degradação e ainda com suas condições ecológicas bem preservadas. Até o início da década de 1980 as avaliações de qualidade de ecossistemas aquáticos eram realizadas predominantemente por mensurações de variáveis físicas e químicas de qualidade de água. O avanço nas pesquisas e técnicas de avaliação de qualidade ambiental propiciou o desenvolvimento de novas abordagens, baseadas em uma visão sistêmica da realidade, que têm procurado integrar aspectos físicos, químicos e biológicos. Essas novas abordagens são utilizadas principalmente em países europeus e da América do Norte para caracterizações mais completas das condições ecológicas de um ecossistema.

A transição de paisagens não perturbadas para um cenário de degradação por atividades humanas tem impactado ecossistemas em todo o mundo. A principal ameaça aos ecossistemas aquáticos são as atividades humanas em grandes escalas, que causam impactos à qualidade da água e à sua biodiversidade. Em reservatórios observam-se intensas mudanças devido à proximidade das barragens às cidades ou pelo uso da terra no entorno para outros fins (p. ex. agricultura, monoculturas de eucalipto, pastagens e/ou construção de estradas e rodovias). A modificação da cobertura do solo representa

perda da vegetação natural e da composição original da biodiversidade nos ecossistemas. No estado de Minas Gerais a modificação do uso do solo do entorno de reservatórios pode representar um sinal de alerta para as alterações no Cerrado, o segundo bioma mais extenso da região Neotropical e um dos *hotspots* para conservação de biodiversidade no planeta. Apesar de sua importância ecológica, esse bioma é um dos mais ameaçados pela constante expansão de pastagens e de agricultura, essa última devida principalmente ao cultivo de soja e a investimentos na busca de alternativas energéticas, como os biocombustíveis.

Além da avaliação dos usos e ocupação do solo em bacias hidrográficas representar um aspecto importante em estudos de qualidade ambiental de reservatórios, outra ferramenta importante consiste na caracterização de habitats físicos, que se refere ao estudo de atributos estruturais do ambiente que influenciam ou proveem sustento aos organismos em um corpo d'água (p. ex. cobertura vegetal da margem, tipo de substrato de fundo e ocorrência de alterações antrópicas como construções, áreas agrícolas, pastagens e despejo de lixo). Essa metodologia é utilizada para avaliar os impactos sobre a biota aquática, visto que a diminuição da diversidade de habitats físicos pode levar a uma simplificação das comunidades de organismos aquáticos. Além das metodologias citadas, a integração da medição de variáveis físicas e químicas da água a avaliações de qualidade de ecossistemas permite a classificação e o enquadramento de corpos d'água em classes de qualidade, e torna possível a detecção de modificações nessas variáveis.

Os ecossistemas podem ser estudados em uma ampla gama de escalas espaciais, e o seu funcionamento depende de processos que ocorrem em intervalos de pequenas a grandes escalas, por exemplo, do nível de organismos até um nível de eventos climáticos ou geomorfológicos. O conhecimento das características do ambiente permite propor medidas de restauração e reabilitação de ecossistemas como subsídio aos tomadores de decisões em órgãos ambientais gestores de recursos naturais, governo e instituições de proteção. Considerar aspectos abióticos e bióticos em diferentes escalas espaciais permite a realização de uma importante abordagem de avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos, sendo descrito neste trabalho um exemplo de avaliação em um reservatório tropical brasileiro. Este estudo foi realizado a fim de avaliar a influência de características do reservatório e do seu entorno sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, organismos que compõem a fauna de ecossistemas aquáticos e que são utilizados como indicadores de qualidade ambiental.

Este trabalho foi realizado a partir da seguinte pergunta: “As condições de qualidade ambiental (uso e ocupação do solo, características de habitats físicos e variáveis limnológicas) dos sítios amostrais na região litorânea do reservatório influenciam a estrutura e composição das comunidades bentônicas?”. Para responder a essa pergunta foram consideradas as características do ambiente em macroescala (aspectos do uso e ocupação do solo) mesoescala (integridade da mata ciliar) e microescala (variáveis físicas e químicas da água e sedimento na região litorânea do reservatório).

Avaliação de cenários de qualidade ambiental em um reservatório tropical brasileiro: estudo de caso

Neste estudo foram levantados dados físicos, químicos e biológicos em 40 sítios amostrais na região litorânea do reservatório de Três Marias (Minas Gerais) no fim do período de chuvas, em abril de 2011 (Figura 1). Esse reservatório está localizado no trecho alto da bacia do rio São Francisco, entre os paralelos 18° e 19° de latitude sul e os meridianos 44° e 45° de longitude oeste, em uma zona climática tropical. O seu eixo principal tem extensão de 150 Km, e o reservatório é circundado pelas cidades Abaeté, Biquinhas, Cedro do Abaeté, Felixlândia, Martinho Campos, Morada Nova de Minas, Paineiras, Pompéu, São Gonçalo do Abaeté e Três Marias. É um dos mais antigos dos grandes reservatórios brasileiros, construído em 1961 com a finalidade de regularizar o curso das águas do rio São Francisco em suas cheias periódicas, melhorar as condições de navegabilidade, gerar energia e fomentar o crescimento das indústrias e a irrigação.

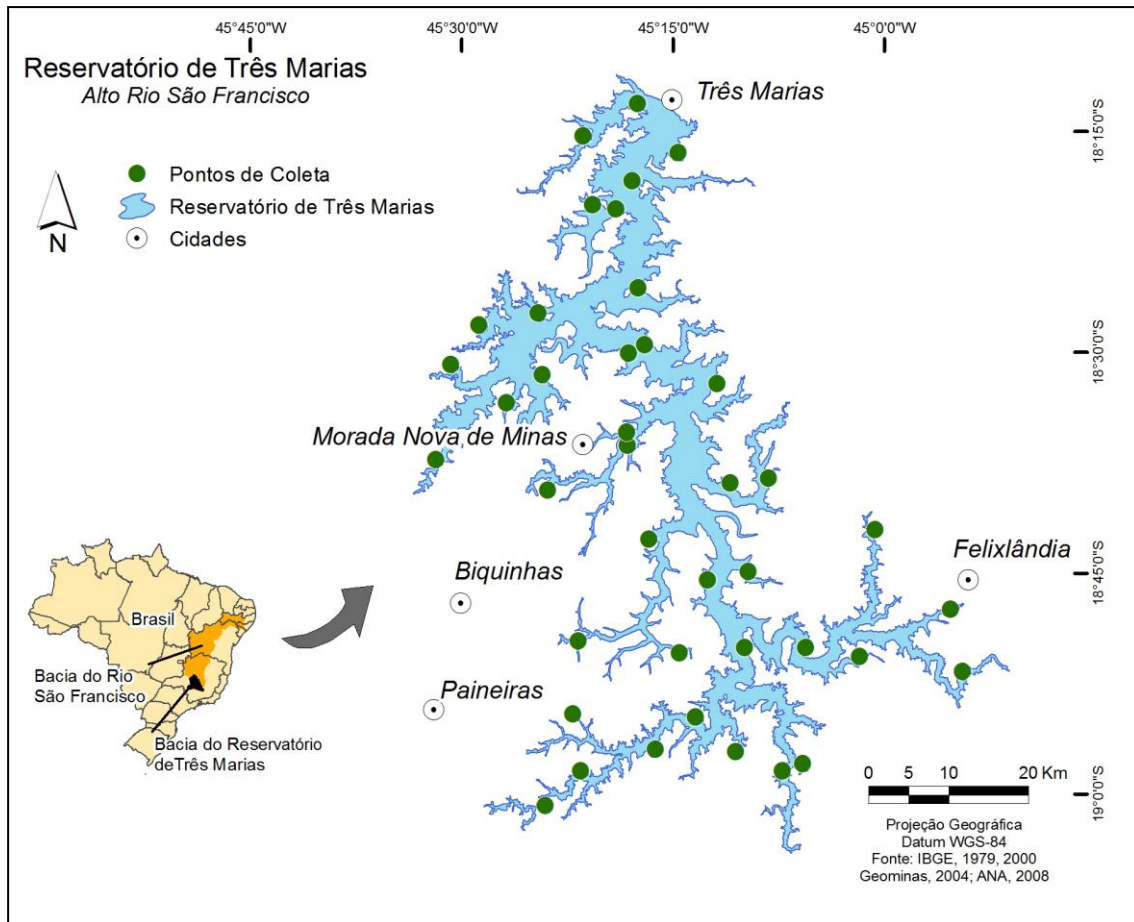


Figura 1 - Rede amostral e localização do reservatório de Três Marias no trecho alto da bacia do rio São Francisco, Minas Gerais.

Foram realizadas avaliações quanto ao uso do solo, extensão da mata ciliar e características da coluna d'água e do sedimento, para caracterizar os 40 sítios amostrais de acordo com níveis de distúrbios (baixo, médio ou alto). A avaliação do uso e ocupação do solo foi realizada por definições do tipo de cobertura do solo em uma área de 500 metros de diâmetro no entorno de cada sítio amostral. A extensão da mata ciliar foi avaliada quanto a características do habitat como componentes da vegetação ripária, presença de influências antrópicas (p. ex. construções, lixo, pastagens e agricultura) e tipos de sedimento de fundo (p. ex. rocha, cascalho, areia e lama). Foram realizadas medições de variáveis na água (p. ex. temperatura, profundidade, teores de nutrientes e de oxigênio) e no sedimento (teores de matéria orgânica e tamanho das partículas de sedimento). Foram avaliadas também as comunidades de macroinvertebrados bentônicos no sedimento nos mesmos sítios amostrais na região litorânea do reservatório.

A avaliação do uso e ocupação do solo demonstrou que a cobertura do solo no entorno do reservatório é principalmente composta por campo (30%) e mata (27%), o que indica que mais da metade do entorno do reservatório é composto por cobertura vegetal natural (não composto por cultivos). Além disso, o entorno do reservatório é composto por eucaliptais (16,31%), pastagens (10,68%), áreas agrícolas (10,59%), solo nu (4,09%), vegetação inundada (1,15%) e construções (0,41%). Foi observado que 42% dos sítios amostrais foram classificados em baixo distúrbio em macroescala (uso do solo). Em mesoescala (integridade da mata ciliar) foi verificado que 48% dos sítios amostrais apresentaram baixo distúrbio (Figura 2). No entanto, não foi possível classificar os sítios amostrais em níveis de distúrbios em microescala (características físicas e químicas da água e sedimento), haja vista que as variáveis mensuradas não apresentaram resultados diferentes entre os sítios amostrais, o que indica que o reservatório é homogêneo quanto às suas características em microescala.

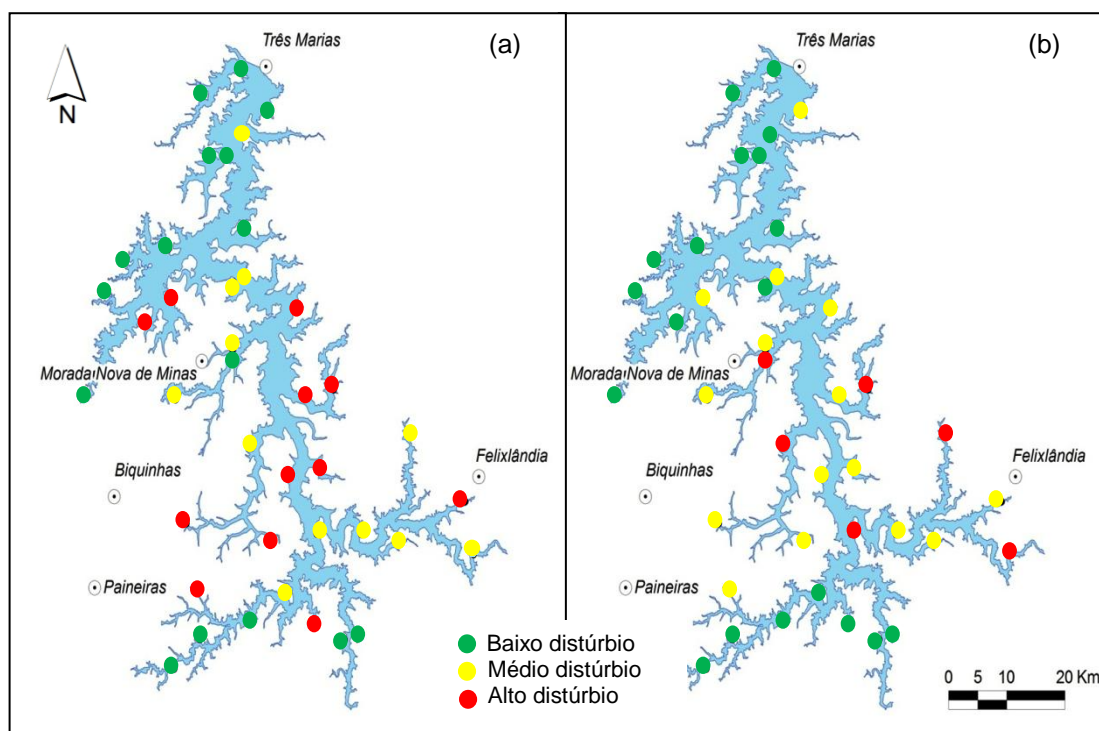


Figura 2 – Classificação dos sítios amostrais quanto ao nível de distúrbio em macroescala (uso e ocupação do solo) (a) e mesoescala (integridade da mata ciliar) (b) no reservatório de Três Marias.

Foi observado neste estudo que a distribuição dos organismos bentônicos não foi explicada pelas diferentes condições de qualidade ambiental dos sítios amostrais em macroescala (uso e ocupação do solo) e mesoescala (integridade da mata ciliar). Por

outro lado, é possível que outros fatores tenham influenciado a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, como a flutuação no nível de água do reservatório. Diante disso, é provável que a fauna encontrada tenha sido composta por organismos que colonizaram o ambiente após a estação seca anterior às amostragens no reservatório.

A fauna bentônica no reservatório de Três Marias foi composta principalmente por indivíduos da família Chironomidae (Insecta, Diptera), que constituem o grupo mais representativo dentre os insetos aquáticos, e que possuem capacidade de explorar diversos recursos alimentares, permitindo a ocupação de diferentes habitats, desde pequenos córregos e poças temporárias a grandes rios, lagos e reservatórios (Figura 3). Nesse contexto, é possível que esses organismos tenham sido registrados em maior abundância no reservatório por sua capacidade em colonizar áreas de inundação recente. Os resultados indicaram a presença de espécies exóticas de moluscos (*Melanooides tuberculatus* e *Corbicula fluminea*) e camarão (*Macrobrachium amazonicus*) em locais com baixo, médio e alto distúrbios, em macro e mesoescalas.

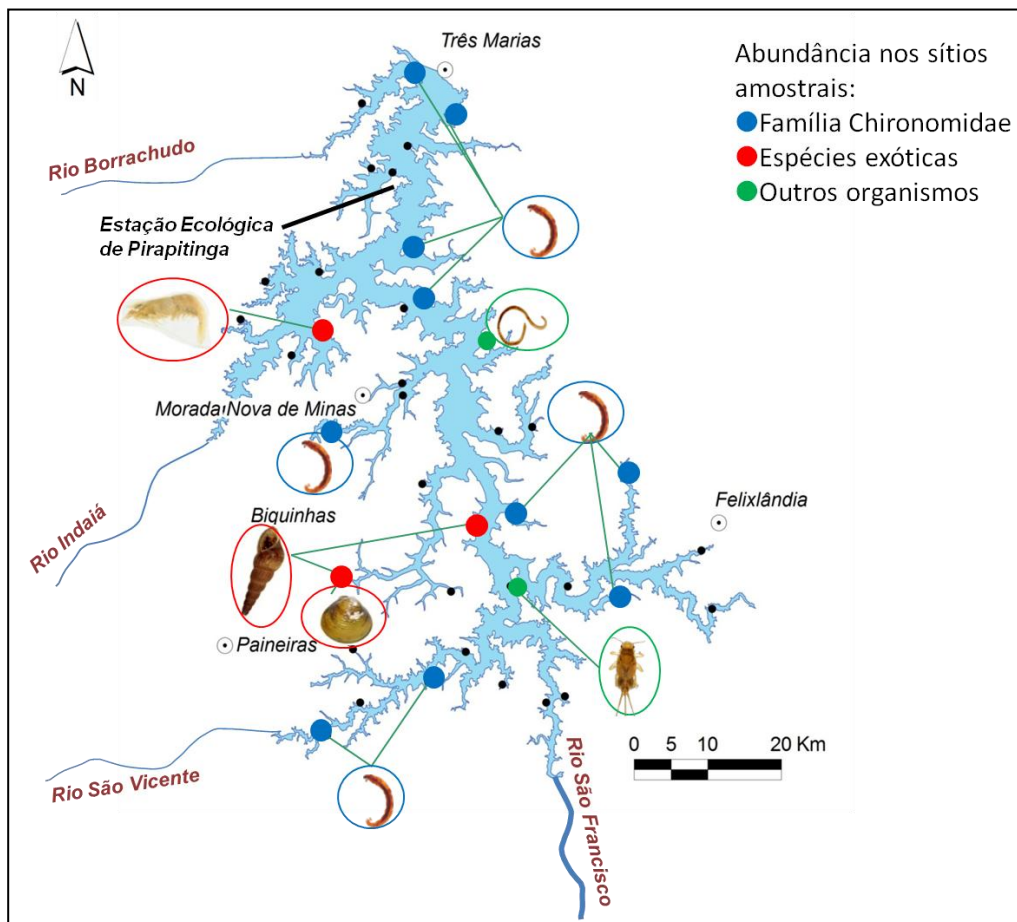


Figura 3 – Macroinvertebrados bentônicos coletados no entorno do reservatório de Três Marias, MG.

Ao avaliar a qualidade ambiental em macro e mesoescalas foi identificado em ambas as escalas um total de 14 sítios amostrais em condições de baixo distúrbio. Esses sítios amostrais caracterizam localidades específicas do reservatório em melhor cenário de qualidade ambiental: próximos à entrada do rio São Francisco (rio principal) e dos tributários Indaiá, Borrachudo e São Vicente e na Estação Ecológica de Pirapitinga (Figura 3).

Considerações finais e recomendações

A conservação de sítios amostrais em condições que estejam em baixo distúrbio deve ser uma prioridade a fim de manter as características das áreas em melhores cenários de qualidade ambiental no entorno do reservatório de Três Marias. Por outro lado, sítios amostrais classificados em médio e alto distúrbios podem ser submetidos à reabilitação (recuperação de pelo menos algumas das funções do ecossistema e algumas das espécies originais) ou restauração (restabelecimento da área em sua composição original de espécies e estrutura através de programas de reintrodução). Além de aspectos em macro, meso e microescalas, outros fatores de influência sobre a comunidade bentônica devem ser considerados, como a flutuação no nível de água de reservatórios. É importante que haja um esforço conjunto entre governo, órgãos ambientais e empresas privadas para o desenvolvimento de pesquisas ecológicas sobre avaliações de qualidade ambiental e para práticas futuras de conservação, reabilitação e restauração de ecossistemas aquáticos artificiais.

Sugestões de leitura

Henry, R. 1999. Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu: FAPESP, FUNDIBIO. 799p.

Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T. 2003. Integration of research and management in optimizing multiple uses of reservoirs: the experience in South America and Brazilian case studies. *Hydrobiologia*. 500: 231-242.

Molozzi, J., Feio, M.J., Salas, F., Marques, J.C., Callisto, M. 2012. Development and test of a statistical model for the ecological assessment of tropical reservoirs based on benthic macroinvertebrates. *Ecological Indicators*. 23: 155-165.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS EM UM RESERVATÓRIO TROPICAL EM DIFERENTES ESCALAS ESPACIAIS

Morais, L.¹, Sanches, B. O.², Santos, G. B.², Kaufmann, P. R.³, Hughes, R. M.³,
Mollozi, J.⁴ & Callisto, M.¹

¹ Laboratório de Ecologia de Bentos – ICB/UFMG. CP. 486. CEP 30.161-970, Belo Horizonte (MG), Brasil

² Programa de Pós- Graduação em Zoologia de Vertebrados - PUC Minas. Avenida Dom José Gaspar, 500. CEP 30.535-610, Belo Horizonte (MG), Brasil

³ Department of Fisheries & Wildlife, Oregon State University, 200 SW 35th St. OR 97333, USA.

⁴ Laboratório de Ecologia de Bentos – ICB/UEPB. Rua Baraúnas, 352, Bairro Universitário. CEP 58.429-500, Campina Grande (PB), Brasil.

RESUMO

Reservatórios são ecossistemas aquáticos artificiais sujeitos a impactos antrópicos diversos devido aos múltiplos usos de bacias hidrográficas. O objetivo deste trabalho foi avaliar cenários de condições ambientais em um reservatório tropical em diferentes escalas espaciais, considerando aspectos do uso e ocupação do solo (macroescala), características de habitats físicos (mesoescala) e variáveis limnológicas (microescala) como preditores de condições que potencialmente influenciam a comunidade dos macroinvertebrados bentônicos. Foi testada a hipótese de que diferentes condições de qualidade ambiental são observadas ao avaliar os sítios amostrais em macro, meso e microescalas, influenciando a estrutura e composição de comunidades bentônicas. Foram testadas as seguintes predições: i) Em boas condições de qualidade ambiental (baixo distúrbio) a riqueza de macroinvertebrados bentônicos é maior, e em más condições de qualidade ambiental (alto distúrbio) observam-se menor riqueza de macroinvertebrados bentônicos e a presença de espécies exóticas. ii) As atividades antrópicas no entorno do reservatório favorecem a ocorrência de diferentes níveis de distúrbios entre os sítios amostrais em cada escala. iii) A classificação em níveis de distúrbios de cada sítio amostral é distinta entre macro, meso e microescalas. Essa avaliação foi realizada em 40 sítios amostrais da região litorânea de um

reservatório. A avaliação em macroescala foi realizada a partir de áreas de influência de 500 metros de diâmetro no entorno de cada sítio amostral, onde foram mensuradas as porcentagens de cobertura de categorias do uso do solo e separados os sítios amostrais de acordo com os tipos de uso e ocupação do solo por análise de NMDS (Escalonamento Multidimensional Não-Métrico). A avaliação em mesoescala foi realizada a partir do cálculo de métricas de habitats físicos, que consideraram distúrbios humanos e a complexidade de cobertura das zonas ripária e litorânea. A avaliação em microescala considerou variáveis físicas e químicas da água e sedimento, que foram avaliados por NMDS, Cluster e SIMPROF. A distribuição dos sítios amostrais em relação aos níveis de distúrbios em macro e mesoescalas foi realizada a partir de análises de NMDS, sendo a significância da divisão e o grau de separação dos sítios amostrais avaliados por ANOSIM (Análise de Similaridade). Foi avaliado se a comunidade de macroinvertebrados bentônicos se distribui na região litorânea do reservatório de acordo com os diferentes níveis de distúrbios, utilizando análises de NMDS e ANOSIM. Foi realizada a estimativa de riqueza de *taxa* com draga de Eckman-Birge e *kicking-net*. A avaliação do uso e ocupação do solo revelou uma cobertura no entorno do reservatório composta por campo (30,07%), mata (26,70%), eucalipto (16,31%), pasto (10,68%), agricultura (10,59%), solo nu (4,09%), vegetação inundada (1,15%) e construções (0,41%). A divisão em grupos de distúrbios indicou a existência de três grupos separados tanto para a classificação de acordo com o uso do solo quanto para a divisão por métricas de distúrbio. Não houve separação dos sítios amostrais em grupos de distúrbios quanto às variáveis físicas e químicas da água e sedimento. A estimativa de riqueza de macroinvertebrados bentônicos indicou que as coletas com draga de Eckman-Birge e *kicking-net* resultaram em estimativas de riqueza de famílias semelhantes (70% e 71%, respectivamente), enquanto foi obtido maior alcance da riqueza estimada de gêneros de Chironomidae (Insecta, Diptera) na coleta com draga de Eckman-Birge (80%) do que na coleta com *kicking-net* (67%). Não foram encontradas relações significativas entre a composição e estrutura da macrofauna bentônica e os parâmetros avaliados em diferentes escalas. É possível que a distribuição da macrofauna bentônica não tenha sido diretamente influenciada pelos diferentes tipos de distúrbios nos sítios amostrais, mas que tenha sido decorrente de outros fatores, como a flutuação no nível de água do reservatório.

Palavras-chave: Qualidade ambiental, escalas espaciais, macroinvertebrados bentônicos, reservatório, bioindicadores, habitats físicos.

INTRODUÇÃO

Os reservatórios são ecossistemas aquáticos artificiais complexos e dinâmicos, que apresentam funções múltiplas de acordo com diferentes demandas, como geração de energia elétrica, abastecimento, irrigação, navegação, controle de enchentes, pesca, turismo e recreação (Prado, 2002; Tundisi, 2006). Estima-se que cerca de 91% da energia utilizada no Brasil tenha origem em usinas hidrelétricas (Tucci *et al.*, 2001). Considerando a importância da água para a sobrevivência humana e seus múltiplos usos, os estudos para a determinação da qualidade da água e do ambiente tornam-se uma ferramenta útil para o conhecimento do estado de degradação de um determinado sistema (Araújo, 1998). Apesar da operação de reservatórios prover uma amplitude de bens e serviços econômicos, a instalação desses empreendimentos reduz a conectividade de rios e planícies de inundação e aumenta a fragmentação ao longo de bacias hidrográficas. As alterações causadas modificam a estrutura de assembleias de peixes e macroinvertebrados bentônicos com mudanças na sua composição, abundância e diversidade, tanto a montante quanto a jusante de barramentos (Tiemann *et al.*, 2004).

As avaliações da qualidade ambiental de ecossistemas têm se baseado em uma visão sistêmica e procurado integrar aspectos físicos, químicos e biológicos (Barbour *et al.*, 1999), o que permite uma caracterização mais completa das condições ecológicas de um ecossistema (Callisto *et al.*, 2004). Para caracterizar as condições de qualidade ambiental de ecossistemas lacustres é realizada a avaliação de gradientes de distúrbio utilizando abordagens específicas, seja pela análise dentro de um mesmo reservatório ou ainda pela comparação entre ecossistemas distintos (Molozzi, 2011; Molozzi *et al.*, 2011). A seleção de sítios amostrais de acordo com gradientes de distúrbio adotada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) admite duas abordagens: *a priori* (realizada anteriormente à coleta de dados) e *a posteriori* (baseada em análises e interpretações de dados físicos e químicos obtidos na amostragem) (USEPA, 1998; 2004).

As atividades humanas na escala da paisagem são a principal ameaça à integridade ecológica de ecossistemas aquáticos, impactando a qualidade da água e a biota por numerosas e complexas vias (Allan, 2004). A substituição de paisagens não perturbadas para novas paisagens dominadas por atividades antrópicas tem impactado ecossistemas em todo o mundo. Portanto, quantificações do uso e cobertura do solo em

macroescala constituem um indicador valioso do estado ecológico de ecossistemas (Meyer & Turner, 1994).

Considerar aspectos do uso e ocupação do solo, características de habitats físicos e parâmetros limnológicos e biológicos consiste em uma abordagem integradora de avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos, sendo empregada neste trabalho no estudo de um reservatório tropical (Três Marias). Este trabalho foi elaborado a partir da seguinte pergunta: “As condições de qualidade ambiental (uso e ocupação do solo, métricas de habitats físicos e variáveis limnológicas) dos sítios amostrais na região litorânea do reservatório influenciam a estrutura e composição das comunidades bentônicas?”. Foi testada a hipótese de que diferentes condições de qualidade ambiental são observadas ao avaliar os sítios amostrais em macro, meso e microescalas, influenciando a estrutura e composição de comunidades bentônicas. Foram testadas as seguintes predições: i) Em boas condições de qualidade ambiental (baixo distúrbio) a riqueza de macroinvertebrados bentônicos é maior, e em más condições de qualidade ambiental (alto distúrbio) observam-se menor riqueza de macroinvertebrados bentônicos e a presença de espécies exóticas. ii) As atividades antrópicas no entorno do reservatório favorecem a ocorrência de diferentes níveis de distúrbios entre os sítios amostrais em cada escala. iii) A classificação em níveis de distúrbios de cada sítio amostral é distinta entre macro, meso e microescalas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar cenários de condições ambientais em um reservatório tropical em diferentes escalas espaciais, considerando aspectos do uso e ocupação do solo (macroescala), características de habitats físicos (mesoescala) e variáveis limnológicas (microescala) como preditores de condições que potencialmente influenciam a comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

METODOLOGIA

Área de estudo

O reservatório de Três Marias está localizado no estado de Minas Gerais, no trecho alto da bacia do rio São Francisco (Figura 1). Suas águas são oriundas principalmente desse rio e de tributários principais, como os rios São Vicente, Paraopeba, Sucuriú, Indaiá, Ribeirão do Boi, Ribeirão da Extrema e Borrachudo (Esteves *et al.*, 1985). Sua operação foi iniciada em 1962, com a finalidade de

regularizar o curso das águas do rio São Francisco nas cheias periódicas, melhorar as condições de navegabilidade e fomentar o setor industrial e a irrigação (Freitas & Filho, 2004).

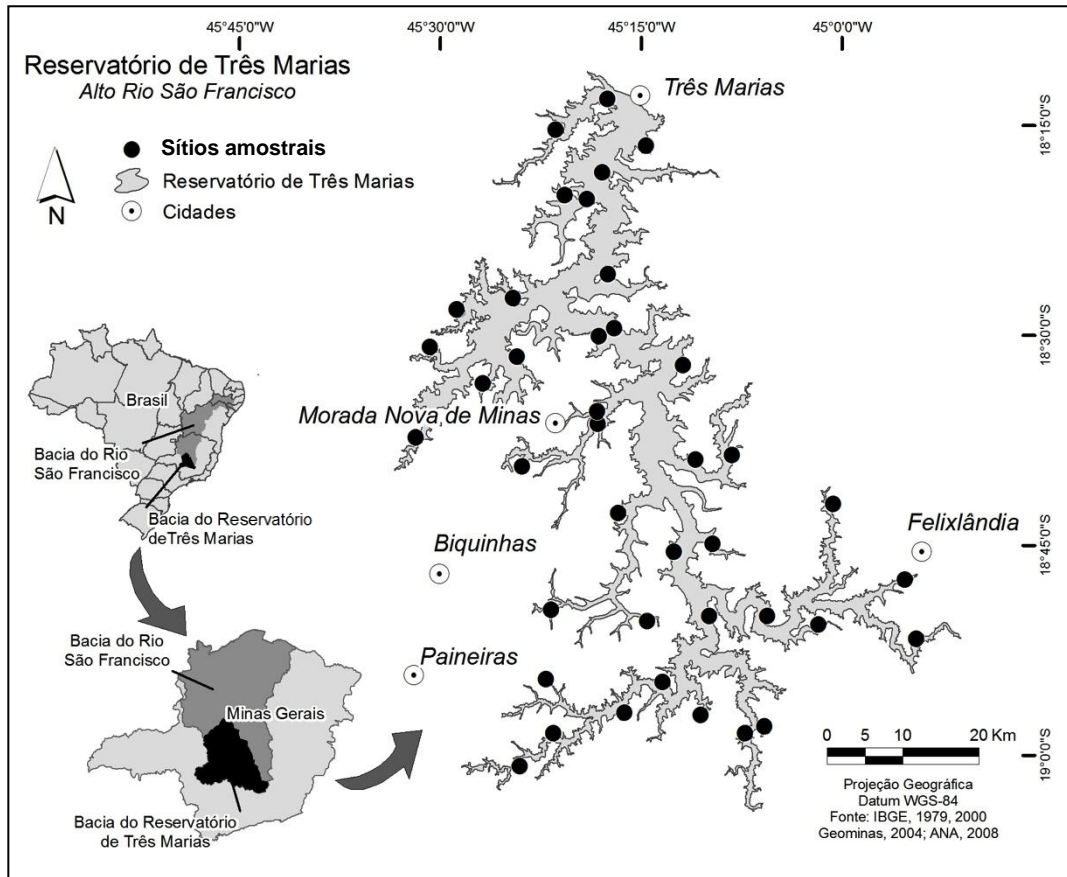


Figura 1 - Rede amostral e localização do reservatório de Três Marias no trecho alto da bacia do rio São Francisco, Minas Gerais.

Definição dos sítios amostrais

A definição dos sítios amostrais foi realizada de acordo com a metodologia descrita pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2011). A partir do sorteio de um ponto inicial (utilizado como referência), outros 39 sítios amostrais foram demarcados percorrendo o entorno do reservatório no sentido horário em relação à barragem, totalizando 40 sítios amostrais equidistantes por 55,715 km. A amostragem foi realizada na região litorânea do reservatório, no fim da estação chuvosa (abril/2011) e na condição de capacidade máxima de armazenamento de água.

Avaliação de autocorrelação espacial

Para avaliar a ocorrência de autocorrelação espacial entre os sítios amostrais foram obtidas as coordenadas geográficas em UTM (*Unit Training Manager*) por meio de equipamento de georreferenciamento do tipo GPS (*Global Positioning System* - modelo Garmin GPSmap 76CSx). Para essa análise foi avaliado o padrão espacial da riqueza de macroinvertebrados bentônicos em relação ao uso e ocupação do solo no entorno do reservatório nos 40 sítios amostrais.

Avaliação do uso e ocupação do solo (macroescala)

A avaliação do uso e ocupação do solo no entorno do reservatório de Três Marias foi realizada a partir da utilização de áreas de influência (*buffers*) de 500 metros. Os *buffers* foram demarcados sobre uma carta imagem obtida por meio de sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, datada do mesmo período da campanha de coleta (abril/2011).

Foi construída uma chave de fotointerpretação (Tabela 1) para discriminar as categorias do uso e ocupação das áreas no entorno dos sítios amostrais (mata, campo, agricultura, monocultura de eucalipto, pasto, solo nu, vegetação inundada e construções). O entorno do reservatório foi delimitado em polígonos e classificado de acordo com as características contempladas pela chave de fotointerpretação. O programa Kosmo 2.0 (Sistema Aberto de Informação Geográfica) foi utilizado para definir os padrões de cores observadas em cada polígono. Foram utilizadas também imagens do programa Google Earth 6.0 (Google Corporation) como dado auxiliar à avaliação, e junto às características observadas pelo programa Kosmo 2.0 foi possível estabelecer cada categoria do uso e ocupação do solo.

Tabela 1 - Chave de fotointerpretação utilizada na avaliação do uso e ocupação do solo no entorno do reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG.

Categorias	Cores	Descrição
Mata	Marrom escuro	Áreas de vegetação natural com predominância de árvores grandes.
Campo	Verde médio a escuro	Áreas de vegetação natural com predominância de estratos vegetais inferiores (arbustivos), textura rugosa.
Agricultura	Laranja claro a escuro, verde claro a médio e marrom claro a médio	Áreas com agricultura (cultivos em geral). Áreas bem delimitadas e com padrões de plantio.
Monocultura de eucalipto	Verde claro, laranja escuro	Áreas com plantação de eucalipto. Plantio organizado em fileiras.
Pasto	Verde, rosa ou laranja claro	Presença de solo coberto por estratos vegetais inferiores, textura homogênea. Pastagens e áreas abandonadas com solo coberto.
Solo nu	Branco, azul claro e verde claro	Áreas desmatadas ou estradas de terra com predominância de solo totalmente exposto.
Vegetação inundada	Marrom médio a escuro	Presença de bancos de vegetação inundada em formato de ilhas.
Construções	Branco, azul claro e verde claro	Presença de construções e estradas asfaltadas.

Cálculo das métricas de habitats físicos (mesoescala)

Para o cálculo das métricas de habitats físicos em mesoescala foi aplicado o Protocolo de Caracterização de Habitats Físicos proposto pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2011). O protocolo aplicado foi modificado e

adaptado para a utilização em ecossistemas tropicais, como realizado no trabalho de Molozzi *et al.* (2011) (Anexo 1).

Em cada um dos 40 sítios amostrais o protocolo foi aplicado ao longo de 150 metros da margem, em 10 transectos consecutivos de 15 metros de largura, totalizando 400 protocolos aplicados na região litorânea do reservatório. Cada unidade de amostragem foi composta por seções contínuas de zona litorânea (15 x 10 m), ripária (15 x 15 m), inundável (15 x Y m), onde Y representa o comprimento da zona inundável, que variou entre os transectos devido à inclinação das margens nos sítios amostrais.

O cálculo das métricas foi realizado de acordo com a metodologia empregada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, descrita pelo trabalho de Kaufmann *et al.* (*in press*). Foram utilizados quatro índices para caracterizar os habitats físicos, que se relacionaram a: (i) extensão e intensidade do distúrbio humano na zona ripária (*RDis_IX*); (ii) cobertura e estrutura da vegetação ripária (*RVegQ*); (iii) complexidade da cobertura litorânea (*LitCvrQ*) e (iv) combinação entre complexidade estrutural das zonas ripária e litorânea (*LitRipCvQ*). Esses índices foram compostos por métricas de menor escala, calculadas a partir de somas e médias das características do protocolo (Anexo 2).

Avaliação de variáveis físicas e químicas de coluna d'água e sedimento (microescala)

A avaliação de variáveis limnológicas foi realizada por mensurações e coletas de amostras de água e sedimento na região litorânea do reservatório, em microescala. As mensurações de temperatura da água (°C), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e teores de sólidos totais dissolvidos (g/L) foram realizadas *in situ*, utilizando um multi-analisador Yellow Spring, modelo YSI 6600. As profundidades total e da zona eufótica foram mensuradas utilizando-se profundímetro e disco de Secchi, respectivamente. A turbidez (UNT) foi medida a partir de um turbidímetro Digimed. Os teores de clorofila-a ($\mu\text{g}/\text{L}$) foram avaliados pela metodologia de Golterman *et al.* (1978). Os teores de oxigênio dissolvido (mg/L) foram determinados pelo método de Winkler (1888). A alcalinidade total (mg/L) das amostras foi calculada a partir do programa ALCAGRAN (Carmouze, 1994). As mensurações de teores de nitrogênio total (mg/L) e fósforo total

(mg/L) foram realizadas segundo as metodologias de Golterman *et al.* (1978) e Mackereth *et al.* (1978), respectivamente.

Os teores de matéria orgânica no sedimento foram mensurados por calcinação em forno mufla a 550°C por quatro horas (Esteves *et al.*, 1995). A avaliação da composição granulométrica foi realizada por metodologia de peneiramento, de acordo com o método proposto por Suguio (1973) modificado por Callisto & Esteves (1996).

Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água

A coleta de macroinvertebrados bentônicos foi realizada na região litorânea do reservatório, utilizando os amostradores draga de Eckman-Birge (0,0225 m²) e *kicking-net* (malha de 0,5 mm; 0,0625 m² de área) em cada um dos 40 sítios amostrais, totalizando 40 amostras coletadas individualmente com draga e 40 com *kicking-net*. Para a coleta com *kicking-net* foi fixada uma área amostral num quadrado de aproximadamente 25 cm de lado, a partir do qual o sedimento foi revolvido e direcionado para a rede. Esse amostrador foi aplicado em regiões de menor profundidade, próximas à margem do reservatório, onde esperava-se haver maior diversidade de substratos e maior densidade de vegetação inundada.

O material coletado foi lavado em peneiras com aberturas de malha de 1,0 e 0,5 mm, triado e identificado no Laboratório de Ecologia de Bentos da Universidade Federal de Minas Gerais. Os macroinvertebrados bentônicos foram identificados em famílias, com o auxílio de chaves taxonômicas específicas (Peterson, 1960; Boffi, 1979; Pérez, 1988; Merritt & Cummins, 1996; Carvalho & Calil, 2000; Fernández & Domínguez, 2001; Costa *et al.*, 2006; Mugnai *et al.*, 2010). Os exemplares da família Chironomidae (Insecta, Diptera) foram identificados em gêneros, utilizando a chave taxonômica de Trivinho-Strixino (2011).

ANÁLISE DOS DADOS

Avaliação de autocorrelação espacial

A avaliação de autocorrelação espacial foi realizada a partir de análises do padrão espacial da riqueza de famílias de macroinvertebrados bentônicos considerando

os dados do uso e ocupação do solo. As categorias do uso e ocupação do solo utilizadas nessa etapa foram estabelecidas a partir de uma análise de ordenação do tipo NMDS (Escalonamento Multidimensional Não-Métrico) (Clarke & Gorley, 2006). Os sítios amostrais foram agrupados de acordo com a similaridade de cobertura em cinco categorias de uso do solo predominante: mata, campo, eucalipto, pasto e outros (sítios amostrais sem predominância de uma dada categoria). Os dados foram transformados em arcosseno (Zar, 1996) e normalizados, utilizada uma matriz de similaridade (distância euclidiana) e realizadas 999 randomizações. Foram consideradas neste trabalho somente as análises de NMDS com valores de estresse máximo igual a 0,2 (Clarke, 1993).

Posteriormente foi realizada uma Análise de Variância de um Fator - ANOVA one-way (Zar, 1996) com os dados de riqueza de famílias de macroinvertebrados bentônicos e uso e ocupação do solo no programa Statistica 8.0 (StatSoft Inc., 2007). Os resíduos da ANOVA one-way foram utilizados na construção de um correlograma, uma representação gráfica que avalia o comportamento da autocorrelação como função da distância espacial, fornecendo uma descrição do padrão espacial dos dados (Diniz-Filho *et al.*, 2003). Para a construção do correlograma foi utilizado o programa SAM 4.0 (*Spatial Analyses in Macroecology*) (Rangel *et al.*, 2010). A significância geral do correlograma foi avaliada pela aplicação da correção de Bonferroni (Oden, 1984).

Com a finalidade de lidar com a autocorrelação espacial foi aplicado um filtro espacial e realizado um novo modelo de análise. Foi realizada uma Análise de Covariância - ANCOVA (Zar, 1996) que considerou a riqueza de famílias de macroinvertebrados bentônicos como variável resposta, os dados de uso e ocupação do solo como preditores e o filtro espacial como covariável preditora. A partir dos resíduos da ANCOVA foi gerado um novo correlograma.

Avaliação do uso e ocupação do solo

A avaliação do uso e ocupação do solo teve como objetivo verificar a distribuição dos sítios amostrais de acordo com a cobertura do solo e os níveis de distúrbio em macroescala. A distribuição dos sítios amostrais de acordo com o tipo de cobertura do solo predominante foi realizada por um NMDS a partir de dados

transformados em arcosseno e matriz de similaridade que utilizou distância euclidiana como coeficiente de similaridade, sendo realizadas 999 randomizações.

Classificação de sítios amostrais segundo níveis de distúrbios

A classificação de sítios amostrais em níveis de distúrbios foi realizada em macro, meso e microescalas, assumindo que a paisagem é uma entidade visual, dependente do observador, em particular da escala de observação (Metzger, 2001). A definição das escalas espaciais foi realizada de acordo com Frissel *et al.* (1986) e Allan (1995), considerando a microescala como o menor componente capaz de causar influência ao nível de indivíduo, sendo aplicada às variáveis físicas e químicas da água e sedimento. Nessa abordagem, foi atribuída à macroescala o componente de maior amplitude capaz de causar influência aos indivíduos (uso e ocupação do solo), e à mesoescala uma condição intermediária de influência (métricas de habitats físicos).

A distribuição dos sítios amostrais de acordo com o nível de distúrbio (baixo, médio e alto) do uso e ocupação do solo foi realizada a partir de uma análise de NMDS. Os dados transformados em arcosseno foram normalizados e foi construída uma matriz de similaridade usando distância euclidiana (999 randomizações). A divisão dos sítios amostrais pelo NMDS foi realizada de acordo com a porcentagem do tipo de cobertura encontrado para cada sítio amostral, o que permitiu construir um gradiente e classificar cada sítio amostral em: 1) baixo distúrbio: predominância de mata ou campo, ou um total da soma dessas duas categorias maior que 65%; 2) médio distúrbio: balanço entre categorias com a presença de campo e/ou mata e presença de categorias de impacto (agricultura, pasto, eucalipto, solo nu e construções); 3) alto distúrbio: predominância de uma categoria de impacto em porcentagem maior que 65%.

Posteriormente ao NMDS foi realizada uma Análise de Similaridade (ANOSIM) para avaliar a significância da divisão e o grau de separação dos sítios amostrais pelo valor de R ($R > 0,75$ indica grupos totalmente distintos; $0,25 < R < 0,75$ grupos separados, mas sobrepostos e $R < 0,25$ grupos sem distinção) (Clarke & Warwick, 1994). Todas as análises descritas foram realizadas no programa PRIMER 6.0 (Clarke & Gorley, 2006).

Cálculo de métricas de habitats físicos

A análise de métricas de habitats físicos teve como objetivo avaliar cenários em mesoescala, a partir da divisão dos sítios amostrais de acordo com os níveis de distúrbios. Para a classificação dos sítios amostrais foram realizadas análises de NMDS. Os dados foram normalizados e transformados (arccosseno) e foi construída uma matriz de similaridade (distância euclidiana; 999 randomizações). Foi utilizada a divisão de sítios amostrais em níveis de distúrbios produzida pela variação do índice de distúrbio humano na região de margem (*RDis_IX*), que considerou distúrbios nas zonas ripária e inundável. As demais métricas (*RVegQ*, *LitCvrQ* e *LitRipCvQ*) e suas métricas variantes (Anexo 2) não apresentaram variações suficientes para a proposição de uma escala.

A partir da matriz de similaridade foi realizada também uma ANOSIM para avaliar o padrão de separação dos sítios amostrais quanto ao nível de distúrbio. Todas as análises foram realizadas para cada um dos quatro índices (*RDis_IX*, *RVegQ*, *LitCvrQ* e *LitRipCvQ*) e suas respectivas métricas variantes, utilizando o programa PRIMER 6.0 (Clarke & Gorley, 2006).

Avaliação de variáveis físicas e químicas de coluna d'água e sedimento

A avaliação de variáveis físicas e químicas na água e de granulometria e matéria orgânica dos sedimentos seguiu uma metodologia semelhante à análise de dados do uso e ocupação do solo e das métricas de habitats físicos, a fim de identificar sítios amostrais com características semelhantes e agrupá-los de acordo com os níveis de distúrbio em microescala. Os dados foram padronizados e normalizados. Inicialmente foram realizadas análises de NMDS, a fim de distinguir sítios amostrais para a classificação em grupos de distúrbios. Foram construídas as matrizes de similaridade para as variáveis na água e no sedimento, utilizando distância euclidiana como medida de similaridade (999 randomizações). Foram realizadas análises de Cluster e de Perfil de Similaridade (SIMPROF), essa última com o objetivo de apontar os agrupamentos significativos da análise de Cluster (Clarke & Gorley, 2006). Essas análises foram realizadas para verificar os resultados do NMDS. Todas as análises foram realizadas no programa PRIMER 6.0 (Clarke & Gorley, 2006).

Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água

Foram registradas as abundâncias, riqueza taxonômica e densidade média do conjunto de amostras coletadas com draga e *kicking-net*, tanto para as famílias de organismos bentônicos quanto para os gêneros de Chironomidae (Diptera, Insecta). Foram realizadas análises de NMDS com o objetivo de avaliar se a comunidade bentônica se distribuiu no reservatório em grupos. Os dados de abundância foram transformados em raiz quarta, com o objetivo de reduzir o peso dos *taxa* mais abundantes (Field *et al.*, 1982). Foram criadas matrizes de similaridade (distância euclidiana para dados de riqueza e Bray-Curtis para dados de abundância) e realizadas 999 randomizações.

A fim de avaliar a significância e o grau da distribuição dos organismos em relação aos níveis de distúrbios foi realizada uma ANOSIM com os dados de riqueza e abundância de macroinvertebrados bentônicos e os grupos de distúrbios em macroescala (uso e ocupação do solo) e mesoescala (métricas de habitats físicos). Os dados de variáveis físicas e químicas da coluna d'água e dos sedimentos (microescala) não foram utilizados visto que não foi possível dividir os sítios amostrais em grupos de distúrbios a partir desses dados pelas análises de NMDS, Cluster e SIMPROF.

As avaliações dos esforços amostrais das coletas por draga de Eckman-Birge e *kicking-net* foram realizadas por meio de estimativas de riqueza. Foi utilizado o estimador não paramétrico *Jackknife* de segunda ordem (*Jackknife 2*) (Burnham & Overton 1978; Burnham & Overton, 1979).

Foi gerada uma curva de acumulação de espécies para representar a riqueza observada nas amostras. As riquezas observada e estimada foram calculadas no programa EstimateS 8.2 (Colwell, 2006) e os gráficos com as curvas foram construídos no programa Statistica 8.0 (StatSoft Inc., 2007).

RESULTADOS

Avaliação de autocorrelação espacial

O correlograma representou as classes de distância utilizadas na análise e considerou o índice *I* de Moran, que fornece uma medida geral da associação espacial existente no conjunto dos dados. A construção do correlograma após correção com filtro espacial revelou que não há dependência espacial dos sítios amostrais, visto que todos os pontos do correlograma encontraram-se dentro do intervalo de confiança de 95% (Figura 2). A partir disso, os sítios amostrais foram considerados como locais independentes de amostragem.

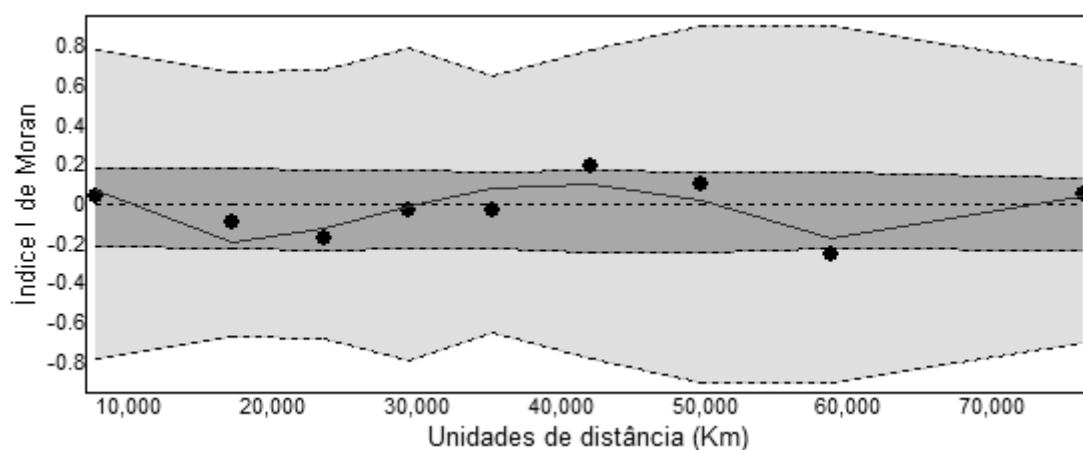


Figura 2 - Correlograma do índice *I* de Moran para a riqueza de famílias de macroinvertebrados bentônicos em relação ao uso do solo no reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG, abril de 2011.

Avaliação do uso e ocupação do solo (macroescala)

A avaliação do uso e ocupação do solo revelou uma cobertura no entorno do reservatório composta por campo (30,07%), mata (26,70%), eucalipto (16,31%), pasto (10,68%), agricultura (10,59%), solo nu (4,09%), vegetação inundada (1,15%) e construções (0,41%).

A divisão dos sítios amostrais evidenciada pelo NMDS resultou nos seguintes grupos: campo, mata, eucalipto, pasto e outros (sítios amostrais que não apresentaram predominância de nenhuma das categorias de cobertura) (estresse = 0,16) (Figura 3).

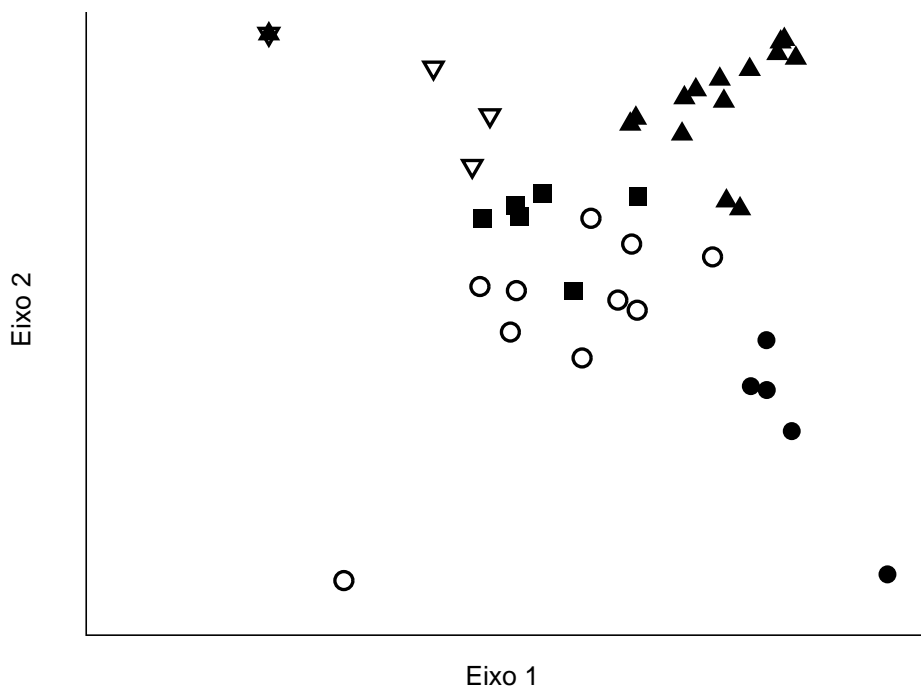


Figura 3 – NMDS baseado na divisão por categorias de cobertura do solo do entorno dos 40 sítios amostrais do reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG, abril de 2011. Os símbolos representam as categorias: campo (triângulo cheio), mata (triângulo vazio), pasto (quadrado cheio), eucalipto (círculo cheio) e outros (círculo vazio).

A ANOSIM utilizada para verificar o grau de separação dos sítios amostrais resultou num R Global de 0,8 ($p = 0,01$), indicando serem totalmente distintos os cinco grupos avaliados.

Classificação de sítios amostrais de acordo com o nível de distúrbio

Os sítios amostrais foram separados em três grupos de distúrbios (baixo, médio e alto) pelo NMDS (estresse = 0,16, Figura 4), porém com sobreposição (ANOSIM, R Global = 0,295 $p = 0,01$). Foi observado que 42% dos sítios amostrais foram classificados em baixo distúrbio, 26% em médio e 32% em alto distúrbio.

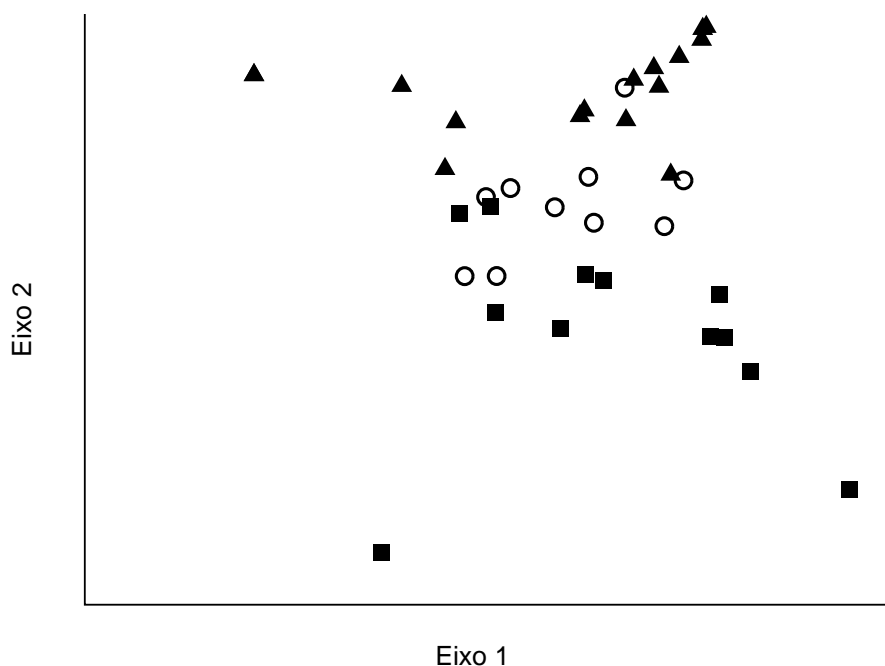


Figura 4 – NMDS baseado na divisão por distúrbio do uso e ocupação do solo do entorno dos 40 sítios amostrais do reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG, abril de 2011. Os símbolos representam os grupos de baixo (triângulo cheio), médio (círculo vazio) e alto distúrbio (quadrado cheio).

Cálculo de métricas de habitats físicos (mesoescala)

Os sítios amostrais foram separados em três grupos de distúrbios pelas métricas de distúrbios na zona ripária (*RDis_IX_Veg*) e na zona inundável (*RDis_IX_Inu*) de acordo com as análises de NMDS (Figuras 5 e 6; Anexo 2). Ambas as análises resultaram em estresse igual a zero.

De acordo com a métrica de distúrbios na zona ripária 48% dos sítios amostrais foram classificados em baixo distúrbio, 37% em médio e 15% em alto distúrbio. A classificação pela métrica de distúrbios na zona inundável registrou 23% dos sítios amostrais em baixo distúrbio, 54% em médio e 23% em alto distúrbio.

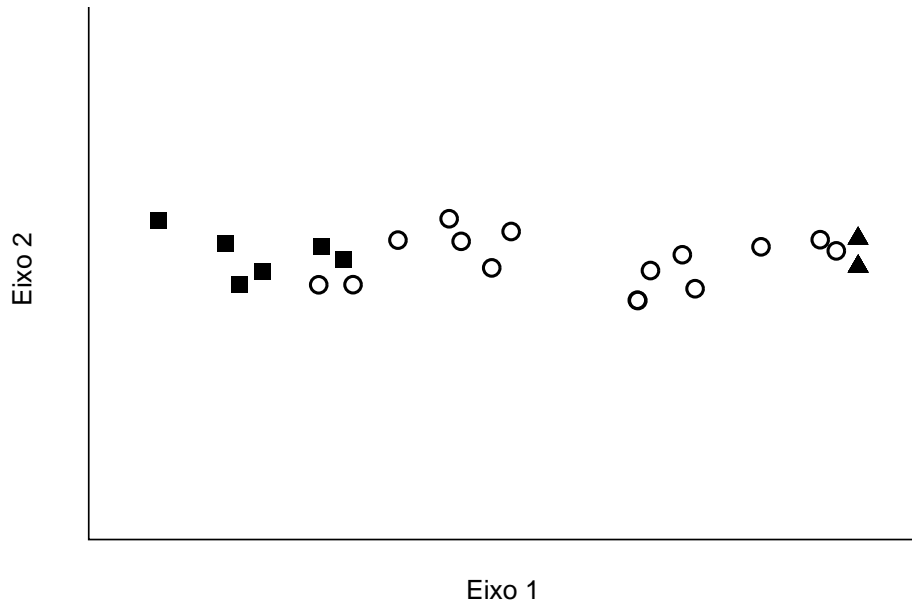


Figura 5 – NMDS baseado na divisão por métricas de distúrbio na zona ripária (*RDis_IX_Veg*) na região litorânea do reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG, abril de 2011. Os símbolos representam os grupos de baixo (triângulo cheio), médio (círculo vazio) e alto distúrbio (quadrado cheio).

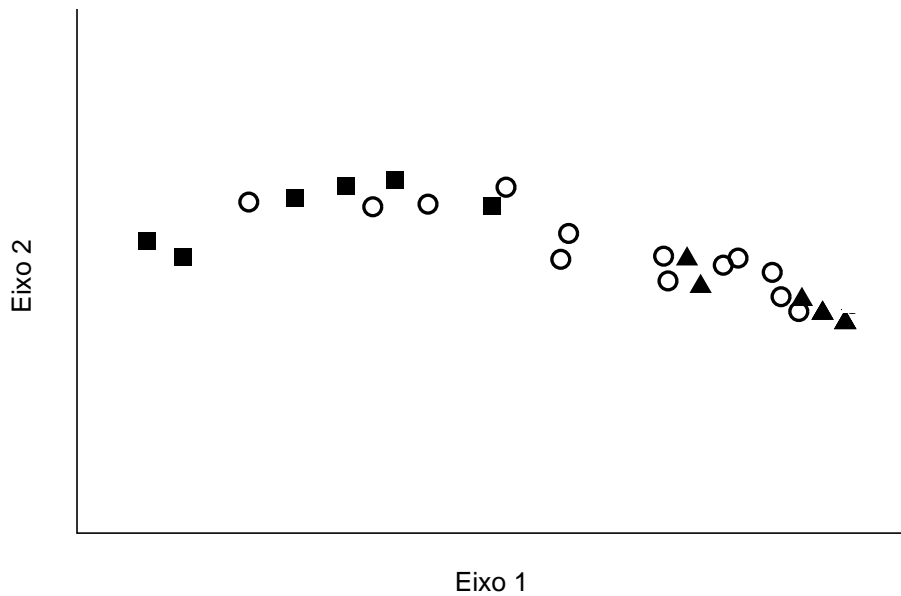


Figura 6 – NMDS baseado na divisão pela métrica de distúrbio da zona inundável (*RDis_IX_Inu*) na região litorânea do reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG, abril de 2011. Os símbolos representam os grupos de baixo (triângulo cheio), médio (círculo vazio) e alto distúrbio (quadrado cheio).

Somente o índice de distúrbio humano foi capaz de distinguir os grupos a partir das métricas de distúrbio na zona ripária (ANOSIM, R Global = 0,8; p = 0,01) e na zona inundável (ANOSIM, R Global = 0,557; p = 0,01). Os sítios amostrais não foram separados em níveis de distúrbio quanto aos demais índices e suas métricas variantes: *RVegQ* (ANOSIM, R Global = 0,04; p = 0,17), *LitCvrQ* (ANOSIM, R Global = 0,01; p = 0,31) e *LitRipCvQ* (ANOSIM, R Global = 0,022; p = 0,26).

Avaliação das variáveis físicas e químicas na coluna d'água e sedimento (microescala)

Os valores mensurados de todas as variáveis físicas e químicas (exceto oxigênio dissolvido) atenderam aos limites de qualidade de água tipo Classe 2 segundo a resolução CONAMA 357/2005. Sendo assim, os 40 sítios amostrais na região litorânea do reservatório de Três Marias possuem águas em qualidade para abastecimento e consumo humano desde que submetidas a tratamento convencional.

A distribuição dos sítios amostrais nas análises de NMDS não seguiu um padrão que permitisse realizar a divisão em grupos de distúrbios, visto que os sítios amostrais não se agruparam em relação às variáveis físicas e químicas na água (estresse = 0,06) e às frações granulométricas e teores de matéria orgânica no sedimento (estresse = 0,1). Pelas análises de Cluster também foi observado que os sítios amostrais não se distribuíram em grupos, e as análises de SIMPROF demonstraram que não foram formados grupamentos significativos entre os sítios amostrais a ponto de agrupá-los em grupos de distúrbios. Com isso, não foi possível estabelecer grupos de distúrbios em microescala neste estudo.

Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água

As amostragens da comunidade de macroinvertebrados bentônicos com draga de Eckman-Birge resultaram em um total de 976 indivíduos (23 taxa) distribuídos nos 40 sítios amostrais no reservatório, sendo registrada uma densidade média de 1084 ind/m². A família Chironomidae (Insecta, Diptera) foi representada por 698 indivíduos (72%) distribuídos em 24 gêneros, com densidade média de 795 ind/m².

As amostragens com *kicking-net* registraram um total de 4464 indivíduos (21 taxa) distribuídos nos 40 sítios amostrais do reservatório, com densidade média de 1786 ind/m². Foram registrados 2874 indivíduos (64%) da família Chironomidae (Insecta, Diptera), distribuídos em 25 gêneros, e uma densidade média de 1150 ind/m².

Foi registrada a presença de indivíduos das espécies exóticas *Melanoides tuberculatus* (0,6%), *Corbicula fluminea* (0,6%) e *Macrobrachium amazonicus* (0,1%). Indivíduos pertencentes à espécie *M. tuberculatus* foram encontrados em sítios amostrais de baixo e alto distúrbios em macroescala, e em sítios amostrais de baixo e médio distúrbios em mesoescala. Os exemplares de *C. fluminea* foram encontrados em um sítio amostral de alto distúrbio em macroescala, e de médio distúrbio em mesoescala. Os organismos pertencentes à espécie *M. amazonicus* estavam presentes em sítios amostrais de médio e alto distúrbios, em macro e mesoescalas.

Não foi possível estabelecer relações entre a fauna bentônica e os níveis de distúrbios em macro e mesoescalas, visto que os resultados dos NMDS não evidenciaram a separação dos sítios amostrais em grupos em relação às comunidades de macroinvertebrados bentônicos. A partir das análises de ANOSIM foi observado que a distribuição da fauna bentônica entre os diferentes níveis de distúrbio não foi significativa (Tabela 2). Não foi possível realizar essas análises com variáveis limnológicas visto que essas não variaram significativamente entre os sítios amostrais para que fosse estabelecida uma classificação de distúrbio.

Tabela 2 – Resultados das análises de NMDS e ANOSIM utilizadas para avaliar a distribuição dos macroinvertebrados bentônicos em grupos de distúrbios nas amostragens na região litorânea do reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG, abril de 2011.

Escalas	Métricas - Amostradores	Estresse NMDS	R Global ANOSIM	p-valor ANOSIM
Macroinvertebrados bentônicos				
	Riqueza - draga	0,1	0,02	0,21
Macroescala	Abundância - draga	0,1	-0,04	0,84
(uso e ocupação do solo)	Riqueza - <i>kicking-net</i>	0,1	-0,05	0,84
	Abundância - <i>kicking-net</i>	0,08	-0,06	0,93
	Riqueza - draga	0	-0,05	0,87
Mesoescala	Abundância - draga	0,1	-0,06	0,94
(métricas de habitat físico)	Riqueza - <i>kicking-net</i>	0,1	0,01	0,43
	Abundância - <i>kicking-net</i>	0	0,01	0,45
Gêneros de Chironomidae				
	Riqueza - draga	0,1	-0,05	0,87
Macroescala	Abundância - draga	0,1	0,01	0,39
(uso e ocupação do solo)	Riqueza - <i>kicking-net</i>	0,01	0,01	0,33
	Abundância - <i>kicking-net</i>	0	-0,02	0,58
	Riqueza - draga	0,1	-0,06	0,94
Mesoescala	Abundância - draga	0	-0,07	0,98
(métricas de habitat físico)	Riqueza - <i>kicking-net</i>	0,01	0,11	0,29
	Abundância - <i>kicking-net</i>	0	0,04	0,20

A estimativa de riqueza de famílias de macroinvertebrados bentônicos nos dois métodos de amostragens evidenciou que 70% da riqueza estimada foi alcançada nas coletas com draga de Eckman-Birge e 71% da riqueza estimada nas amostragens com *kicking-net* (Figura 7).

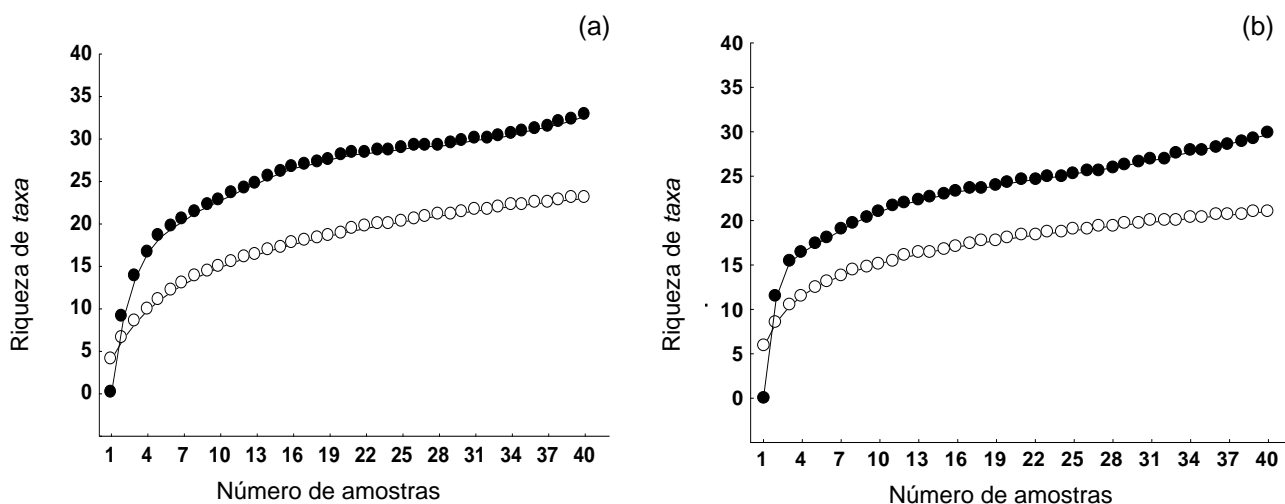


Figura 7 – Estimativas de riqueza de famílias de macroinvertebrados bentônicos coletados por draga de Eckman-Birge (a) e *kicking-net* (b) na região litorânea do reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG, abril de 2011. Os símbolos representam as riquezas observada (círculo vazio) e estimada (círculo cheio).

A estimativa de riqueza para os gêneros da família Chironomidae (Insecta, Diptera) indicou que 80% da riqueza estimada de macroinvertebrados bentônicos na região litorânea do reservatório foi amostrada com draga de Eckman-Birge e 67% com *kicking-net* (Figura 8).

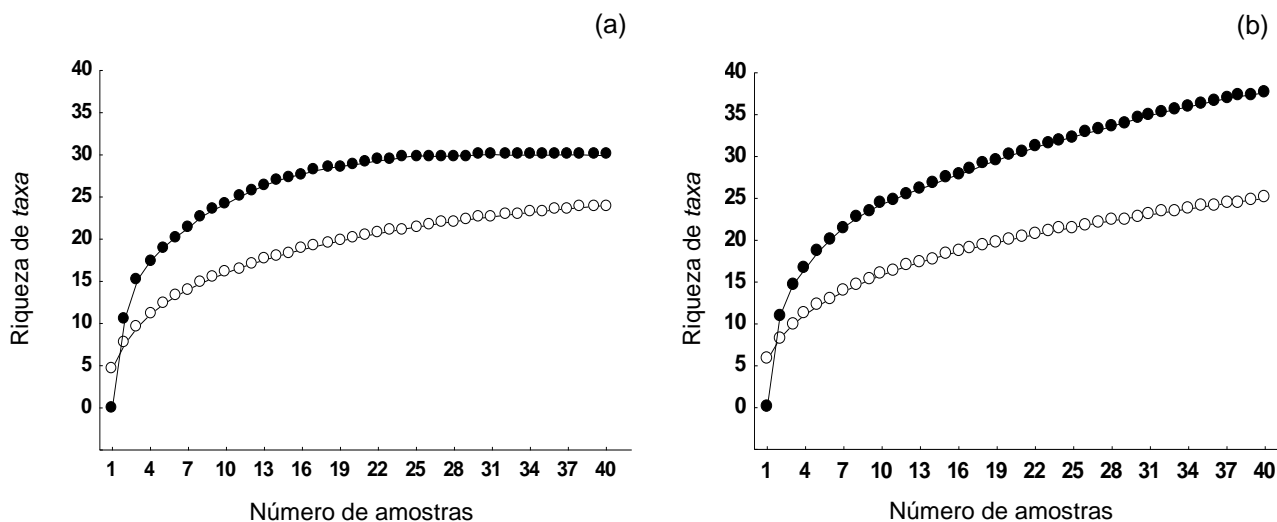


Figura 8 – Estimativa de riqueza de gêneros da família Chironomidae (Insecta, Diptera) coletados por draga de Eckman-Birge (a) e *kicking-net* (b) na região litorânea do reservatório de Três Marias, trecho alto da bacia do rio São Francisco, MG, abril de 2011. Os símbolos representam as riquezas observada (círculo vazio) e estimada (círculo cheio).

DISCUSSÃO

O processo de barramento de um rio modifica atributos físicos, químicos e biológicos do ecossistema, resultando em estrutura, biota e funcionamento específicos (Molozzi, 2011; Molozzi *et al.*, 2011). Tais modificações resultam em um novo e simplificado ecossistema lacustre artificial (Baxter, 1977; Agostinho & Zallewski 1995; Agostinho *et al.*, 2008). As modificações decorrentes de intervenções antrópicas fazem com que os reservatórios apresentem um gradiente de condições ecológicas, composto por diferentes níveis de impactos devido ao tipo de uso e ocupação do solo e qualidade da água (Dodds *et al.*, 2006).

Nessa perspectiva, as classificações em níveis de distúrbio utilizadas neste trabalho apresentaram diferentes respostas em relação aos gradientes de distúrbio registrados no reservatório. As porcentagens de sítios amostrais em cada um dos níveis de distúrbios foram diferentes em macro e mesoescalas. A divisão de sítios amostrais em macroescala foi capaz de distinguir com sobreposição os três grupos de distúrbios, enquanto que a divisão em mesoescala separou totalmente os sítios amostrais em relação à métrica de distúrbio na região ripária. Por outro lado, em microescala não foi possível realizar nenhum tipo de divisão dos sítios amostrais, devido à homogeneidade das variáveis físicas e químicas mensuradas na água e sedimento.

Portanto, os resultados das divisões realizadas neste estudo nas escalas espaciais utilizadas indicaram uma diferença no padrão de separação dos sítios amostrais do reservatório. Turner *et al.* (1989) sugeriram que medidas em diferentes escalas espaciais podem não ser comparáveis, sendo o estabelecimento das escalas espaciais um fator que influencia os resultados de avaliações de padrões da paisagem. Deve-se considerar também que parâmetros e processos importantes em uma escala podem não ser considerados em outra, resultando em uma perda de informação, principalmente quando se trata apenas de escalas de resolução mais ampla (Henderson-Sellers *et al.*, 1985; Meentemeyer & Box, 1987). Dessa forma, uma análise baseada em uma única escala pode fornecer pouca informação sobre a totalidade da paisagem estudada (Wu *et al.*, 1997).

A avaliação de sítios amostrais quanto aos níveis de distúrbios não estabeleceu relações entre a comunidade bentônica e as escalas espaciais. Os resultados das ANOSIM indicaram que não há relações na distribuição dos macroinvertebrados bentônicos com os níveis de distúrbios, não sendo possível constituir associações entre

os dados de riqueza e abundância com características do ambiente em macro e mesoescalas.

Dessa forma, é possível que outros fatores tenham influenciado a comunidade bentônica na região litorânea do reservatório. A depleção no nível de água na margem do reservatório na estação seca pode ter sido um desses fatores, visto que foi observada uma redução de cerca de 10 metros na cota do vertedouro no período seco anterior à amostragem no reservatório de Três Marias (fonte: Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG). Diante disso, foram calculados os níveis de depleção no reservatório no programa ArcGis versão 9.3 (ESRI, 2006) e foi registrado que o nível de água na margem na estação seca teve uma redução horizontal de 20 a 627 metros (média = 112,93 metros; desvio padrão = 119,91), sendo somente quatro sítios amostrais de depleção igual a zero. Isso indica que a distribuição de organismos provavelmente foi dependente de fenômenos de colonização em cada sítio amostral submetido à depleção.

Um estudo em um reservatório nos Estados Unidos (Wisconsin) avaliou a comunidade bentônica antes e depois de um episódio de flutuação, e foi observado que parte da fauna bentônica diminuiu rapidamente em substratos expostos ao ar, sendo necessários três meses para a colonização do ambiente. Além disso, foi observado que o número de indivíduos pertencentes às ordens Ephemeroptera e Trichoptera e à classe Gastropoda sofreu uma redução, quando comparado a reservatórios sem flutuação de nível de água (Kaster & Jacobi, 1978). Outro estudo também realizado nos Estados Unidos (Idaho) avaliou a comunidade bentônica em regiões a montante e a jusante de uma barragem (Munn & Brusven, 1991). Foi observado que a comunidade de macroinvertebrados bentônicos na porção regulada do ecossistema (jusante) foi severamente alterada, com alta abundância e baixa riqueza de *taxa*. A flutuação no nível da água foi apontada como um dos principais efeitos que provavelmente contribuíram para a simplificação da comunidade. Outro trabalho realizado em um dos maiores reservatórios do mundo (Three Gorges Dam – China) comparou a comunidade bentônica por um período de três anos (Shao *et al.*, 2008). Ao avaliar a abundância dos macroinvertebrados bentônicos do reservatório os autores sugerem que a comunidade bentônica foi influenciada por flutuações no nível de água, resultando na maior abundância de quironomídeos e oligoquetas. Apesar do exposto a maior parte dos estudos relacionados a impactos de barragens sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos se destina a avaliar as consequências de alterações no fluxo de rios abaixo de barramentos, e não no próprio ecossistema artificial

(Brandimarte *et al.*, 2005; Jakob *et al.*, 2003; Nichols *et al.*, 2006; Rehn, 2009; Vinson, 2001).

Considerando os estudos anteriores e os resultados deste trabalho, é possível, portanto, que a distribuição da macrofauna bentônica não tenha sido diretamente influenciada pelos diferentes tipos de distúrbios nos sítios amostrais, mas que tenha sido decorrente da flutuação do nível de água do reservatório. A estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos pode ser mais influenciada por baixas taxas de colonização que por alterações na vazão da água (Marchant & Hehir, 2002). Dessa maneira, a flutuação no nível da água na região litorânea do reservatório pode ter favorecido a colonização por organismos com menor exigência de características do hábitat. A colonização de áreas de inundação recente pode ser realizada por quironomídeos como primeiros colonizadores (Baxter, 1977), e esses organismos são capazes de utilizar diferentes recursos alimentares, permitindo a ocupação de uma ampla variedade de habitats (Trivinho-Strixino & Sonada, 2006). Nesse contexto, é possível que a dominância de quironomídeos no reservatório tenha sido observada devido à sua capacidade de ocupar diferentes habitats e de colonizar inicialmente áreas de inundação recente.

A fim de avaliar as amostragens de macroinvertebrados bentônicos no reservatório foi realizada a seleção de um estimador de riqueza de *taxa* com base no tipo de dados das amostras. Considerando que as amostras continham a maior parte dos *taxa* compostos por poucos indivíduos foi utilizado o estimador *Jackknife* de segunda ordem, visto que técnicas baseadas em procedimento *Jackknife* são adequadas para *taxa* raros (De Marco Jr & Siqueira, 2009). Um estudo realizado por Melo & Froehlich (2001) avaliou o desempenho de 13 estimadores de riqueza de macroinvertebrados em escala local (riachos) e regional (bacia hidrográfica). Dentre os estimadores avaliados, o *Jackknife 2* foi considerado um estimador adequado para indicar um número mínimo de amostras a ser coletado, sendo sugerida sua aplicação em estudos futuros. Além disso, outros autores recomendam a utilização do *Jackknife* de segunda ordem em estimativas de riqueza (Palmer, 1990; Palmer, 1991; Colwell & Coddington, 1994).

A partir da estimativa de riqueza de *taxa* de macroinvertebrados bentônicos foi observado que os amostradores draga de Eckman-Birge e *kicking-net* registraram alcances semelhantes da riqueza estimada, o que indica que as duas técnicas de coleta apresentaram resultados próximos quando se objetiva avaliar a riqueza de macroinvertebrados no reservatório. Porém, quanto ao número de indivíduos foram

observados resultados distintos, visto que a coleta com *kicking-net* registrou uma maior densidade média de macroinvertebrados bentônicos do que a amostragem com draga de Eckman-Birge. A família Chironomidae (Insecta, Diptera) foi representada por uma menor porcentagem de indivíduos coletados por *kicking-net* que por draga de Eckman-Birge. Considerando que o *kicking-net* foi aplicado em regiões onde havia maior diversidade de substratos e maior presença de vegetação inundada, é provável que esses locais estivessem mais providos em recursos, ou seja, elementos bióticos e abióticos utilizados pelos organismos para sua manutenção e crescimento (Ricklefs, 2010). Essa condição foi considerada visto que a qualidade dos substratos em rios e lagos tem sido reconhecida como um dos fatores que mais influencia a distribuição de macroinvertebrados bentônicos (Molozzi *et al.*, 2011), e as macrófitas aquáticas proporcionam abrigo contra predadores, locais de oviposição e recursos alimentares para organismos aquáticos (Wilcox & Meeker, 1992). Assim, essa pode ter sido uma das razões para que fosse amostrada maior abundância de indivíduos e observada menor dominância de Chironomidae nas amostragens com *kicking-net*.

A identificação de macroinvertebrados bentônicos registrou a presença de indivíduos de espécies exóticas, ou seja, organismos que ocorrem fora de sua área de distribuição natural passada ou presente, cuja dispersão é causada pela ação humana (Falk-Petersen *et al.*, 2006). De acordo com Bunn & Arthington (2002), a alteração no fluxo de rios a partir da construção de reservatórios de grande porte pode levar a impactos em comunidades animais e vegetais pela facilitação do estabelecimento de espécies exóticas. Além disso, a criação de corpos d'água lânticos por represamento ou desvios de fluxos fluviais favorece espécies exóticas, muitas das quais são mais abundantes em suas áreas nativas em lagos e remansos de rios. De acordo com Rocha *et al.* (2011) reservatórios são ecossistemas vulneráveis à invasão por espécies exóticas, devido às entradas contínuas de materiais biológicos provenientes do rio principal e seus tributários. É provável que as condições do reservatório provenientes das modificações do ecossistema (em macro e mesoescalas) tenham propiciado a sobrevivência de indivíduos exóticos, o que favorece o alcance das espécies a outros locais da bacia hidrográfica. Alguns estudos no Brasil sugerem que há uma relação entre a presença de espécies exóticas e a construção de reservatórios (Pamplin *et al.*, 2006; Jorcin & Nogueira, 2008; Schiavone *et al.*, 2012), corroborando os resultados deste trabalho pelo registro das espécies exóticas *Corbicula fluminea*, *Melanooides tuberculatus* e *Macrobrachium amazonicus*.

A identificação de áreas de baixo, médio e alto distúrbios por uso e ocupação do solo e métricas de distúrbios indicou que escalas espaciais distintas identificam diferentes cenários ambientais no entorno do reservatório de Três Marias. Foi registrado um total de 14 sítios amostrais em baixo distúrbio em macro e mesoescalas. Esses sítios amostrais estão agrupados em localidades específicas do reservatório: próximo à entrada dos rios São Francisco, Borrachudo, Indaiá e São Vicente e na Estação Ecológica de Pirapitinga. Assumindo que a construção de reservatórios representa um desafio para a gestão de recursos hídricos por possuírem sua origem em uma atividade antrópica (Jennings *et al.*, 1995), é sugerido neste trabalho que estratégias de conservação sejam destinadas aos locais de baixo distúrbio, visando à utilização racional de seus recursos naturais e garantindo sua permanência para futuras gerações. Assim, tal proposição é feita a fim de manter as características das áreas em melhores cenários de qualidade ambiental do entorno do reservatório de Três Marias.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem aceitar parcialmente a hipótese estudada, visto que foram observadas diferentes condições de qualidade ambiental nos sítios amostrais do reservatório em macro e mesoescalas, porém não foi observada relação entre a distribuição da comunidade bentônica e os níveis de distúrbio nas escalas avaliadas. Nesse contexto, foi rejeitada a predição de que em boas condições de qualidade ambiental (baixo distúrbio) a riqueza de macroinvertebrados bentônicos é maior, e em más condições de qualidade ambiental (alto distúrbio) observam-se menor riqueza de macroinvertebrados bentônicos e a presença de espécies exóticas, visto que a distribuição da comunidade bentônica não foi explicada pelos níveis de distúrbios e que foi observada a presença de espécies exóticas em sítios amostrais de baixo distúrbio. Por outro lado, foi parcialmente aceita a predição relativa à ocorrência de diferentes níveis de distúrbio entre os sítios amostrais em cada escala devido às atividades antrópicas no entorno do reservatório, visto que em microescala não foi possível distinguir os sítios amostrais em grupos de distúrbios. Por fim, foi aceita a predição referente à distinção da classificação em níveis de distúrbio de cada sítio amostral em macro, meso e microescalas. Em síntese, a hipótese do trabalho não foi completamente corroborada.

CONCLUSÃO

Avaliações de qualidade ambiental em distintas escalas resultaram em diferentes classificações de sítios amostrais em níveis de distúrbios, e essa classificação foi realizada com maior aprimoramento quando utilizadas métricas de distúrbio (mesoescala) do que aspectos do uso e ocupação do solo (macroescala). Por outro lado, não foi possível estabelecer grupos de distúrbios em microescala. A partir da ocorrência dessas diferentes respostas é sugerida a utilização de várias escalas espaciais para avaliações futuras de qualidade ambiental de reservatórios. Ao contrário do que foi observado para os parâmetros em macro e mesoescala, é possível sugerir que a depleção no nível de água na margem do reservatório durante a estação seca tenha sido um fator de influência na comunidade bentônica na região litorânea do reservatório, resultando na composição de comunidades de macroinvertebrados bentônicos decorrente de processos de colonização e na dominância de indivíduos da família Chironomidae. A partir dos resultados observados é sugerida para futuros trabalhos em reservatórios a utilização da draga de Eckman-Birge na avaliação da riqueza de *taxa*, considerando o menor tempo necessário para o processamento de amostras. Por outro lado, quando o objetivo for avaliar a abundância e a densidade de indivíduos sugere-se utilizar o amostrador *kicking-net*, em razão do maior número de indivíduos coletado por esse método. Dessa maneira, a seleção do amostrador deve ser realizada de acordo com a métrica biológica a ser avaliada.

AGRADECIMENTOS

À CEMIG – Programa Peixe Vivo pelo financiamento do projeto, CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio na forma de bolsas. Aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG e do Programa de Pós-Graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas pelo apoio em campo e laboratório e pelo auxílio com a elaboração de mapas e realização de análises estatísticas. Os autores agradecem também ao Dr. Pedro Eisenlohr (Departamento de Botânica - UFMG) pelo auxílio nas análises estatísticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho, A., Zalewski, A., 1995. The dependence of fish community structure and dynamics on floodplain and riparian ecotone zone in Paraná River, Brazil. *Hydrobiol* 35, 257-284.
- Agostinho, A.A., Pelicice, F.M., Gomes, L.C., 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Braz J Biol* 68, 1119-1132.
- Allan, J.D., 1995. *Stream Ecology - Structure and function of running waters*. . Chapman and Hall, U.K.
- Allan, J.D., 2004. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annu Rev Ecol Evol S* 35, 257-284.
- Araújo, F.G., 1998. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o rio Paraíba do Sul. *Rev Bras Biol* 54, 547-558.
- Barbour, M.T., Stribling, J.B., Karr, J.R., 1999. Rapid bioassessment protocol for use in streams and wadable rivers. Environmental Protection Agency, EPA 841-B-99-002, Washington D.C.
- Baxter, R.M., 1977. Environmental Effects of Dams and Impoundments. *Annu Rev Ecol Syst* 8, 255-283.
- Boffi, A.V., 1979. *Moluscos brasileiros de interesse médico e econômico*. HVCITEC, São Paulo.
- Brandimarte, A.L., Anaya, M., Shimizu, G.Y., 2005. Downstream impact of Mogi-Guaçu River damming on the benthic invertebrates (São Paulo State, Brazil). *Acta Limnol Bras* 17, 27-36.

- Brasil, 2005. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, D. F.
- Bunn, S.E., Arthington, A.H., 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environ Manage* 30, 492-507.
- Burnham, K.P., Overton, W.S., 1978. Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. *Biotrop* 30, 625-633.
- Burnham, K.P., Overton, W.S., 1979. Robust Estimation of Population Size When Capture Probabilities Vary Among Animals. *Ecol* 60, 927-936.
- Callisto, M., Esteves, F., 1996. Composição granulométrica do sedimento de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lago natural. *Acta Limnol. Bras.* 8, 115-126.
- Callisto, M., Gonçalves, J.F.Jr., Moreno, P., 2004. Invertebrados aquáticos como bioindicadores, Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais. UFMG, Belo Horizonte, pp. 1-12.
- Carmouze, J.P., 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. FAPESP, São Paulo.
- Carvalho, A.L., Calil, E.R., 2000. Chaves de identificação para Famílias de Odonata (Insecta) ocorrentes no Brasil, adulto e larvas. *Pap Avulsos Zool* 41, 223-241.
- Clarke, K.R., 1993. Nonparametric Multivariate Analyses of Changes in Community Structure. *Aust J Ecol* 18, 117-143.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N., 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Plymouth.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M., 1994. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Plymouth Marine Laboratories.

- Colwell, R.K., 2006. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples., 8.0 ed.
- Colwell, R.K., Coddington, J.A., 1994. Estimating Terrestrial Biodiversity through Extrapolation. *Philos T Roy Soc B* 345, 101-118.
- Costa, C., Ide, S., Simonka, C.S., 2006. Insetos Imaturos Metamorfose e Identificação. Holos, Ribeirão Preto.
- De Marco Jr, P., Siqueira, M.F., 2009. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? *Megadiv* 5, 65-76.
- Diniz-Filho, J.A.F., Bini, L.M., Hawkins, B.A., 2003. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. *Global Ecol Biogeogr* 12, 53-64.
- Dodds, W.K., Carney, E., Angelo, R.T., 2006. Determining ecoregional reference conditions for nutrients, Secchi depth and chlorophyll a in Kansas lakes and reservoirs. *Lake Reserv Manage* 22, 151-159.
- Esteves, F.A., Amorim J.C., Cardoso, E.L., Barbosa, F.A.R., 1985. Caracterização limnológica preliminar da represa de Três Marias (MG) com base em alguns parâmetros ambientais básicos. *Cienc Cult* 37, 608-617.
- Esteves, F.A., Suzuki, M., Callisto, M.F.P., Peres-Neto, P.R. , 1995. Teores de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e feopigmentos no sedimento de alguns ecossistemas lacustres do litoral do Estado do Espírito Santo. *Oecol Bras* 1, 407-416.
- ESRI, 2006. ArcGIS professional GIS for the desktop, 9.3 ed. Environmental Systems Research Institute.
- Falk-Petersen, J., Bohn, T., Sandlund, O.T., 2006. On the numerous concepts in invasion biology. *Biol Invasions* 8, 1409-1424.

- Fernández, H.R., Domínguez, E., 2001. Guia para la determinación de los artrópodos bentônicos. UNT, Tucumán.
- Field, J.G., Clarke, K.R., Warwick, R.M., 1982. A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Mar Ecol Prog Ser* 8, 37-52.
- Freitas, A.S., Filho, J.G.C., 2004. Disponibilidade hídrica do sistema formado pelos reservatórios Três Marias e Sobradinho na bacia hidrográfica do Rio São Francisco para fins de alocação de água. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste 1, 1-16.
- Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E., Hurley, M.D., 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environ Manage* 10, 199-214.
- Golterman, H.L., Clymo, R.S., Ohnstad, M.A.M., 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters., 2nd ed. Blackwell Scientific Publications.
- Henderson-Sellers, A., Wilson, G., Thomas, M.F., 1985. The effect of spatial resolution on archives of land cover type. *Clim Change* 7, 391-402.
- Jakob, C., Robinson, C.T., Uehlinger, U., 2003. Longitudinal effects of experimental floods on stream benthos downstream from a large dam. *Aquatic Sci Res Across Bound* 65, 223-231.
- Jennings, M.J., Fore, L.S., Karr, J.R. , 1995. Biological monitoring of fish assemblages in Tennessee Valley reservoirs. *Regul Rivers Res Manage* 11, 263-274.
- Jorcin, A., Nogueira, M.G., 2008. Benthic macroinvertebrates in the Paranapanema reservoir cascade (southeast Brazil). *Braz J Biol* 68, 1013-1024.
- Kaster, J.L., Jacobi, G.Z., 1978. Benthic macroinvertebrates of a fluctuating reservoir. *Freshw Biol* 8, 283-290.

- Kaufmann, P.R., Peck, D.V., Paulsen, S.G., Seeliger, C.W., Kamman., N.C. , In press. Lake shoreline and littoral zone habitat structure and disturbance in the National Lakes Assessment., J N Am Benthol Soc.
- Mackereth, F.J., Heron., H.J., Talling, J.F., 1978. Water analysis: some revised methods for limnologists. Freshw Biol Assoc, Cumbria.
- Marchant, R., Hehir, G., 2002. The use of AUSRIVAS predictive models to assess the response of lotic macroinvertebrates to dams in south-east Australia. Freshw Biol 47, 1033-1050.
- Meentemeyer, V., Box, E.O., 1987. Scale effects in landscape studies., in: Turner, M.G. (Ed.), Landscape heterogeneity and disturbance. Springer-Verlag, New York.
- Melo, A.S., Froehlich, C.G., 2001. Evaluation of methods for estimating macroinvertebrate species richness using individual stones in tropical streams. Freshw Biol 46, 711-721.
- Merritt, R.W., Cummins, K.W., 1996. An introduction to the aquatic insects of North America, 3rd ed. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque.
- Metzger, J.P., 2001. O que é ecologia de paisagens? Biota Neotrop 1, 1-9.
- Meyer W.B., Turner, B.L., 1994. Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective. Cambridge Univ. Press., New York.
- Molozzi, J., 2011. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta na avaliação da qualidade ecológica de reservatórios tropicais, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Universidade Federal de Minas Gerais., Belo Horizonte.
- Molozzi, J., França, J.S., Araujo, T.L.A., Viana, T.H., Hughes, R.M., Callisto, M., 2011. Diversidade de habitats físicos e sua relação com macroinvertebrados bentônicos em reservatórios urbanos em Minas Gerais. Iheringia, Zool 101, 191-199.

- Mugnai, R., Nessimian, J.L., Baptista, D.F., 2010. Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro. Technical Books, Rio de Janeiro.
- Munn, M.D., Brusven, M.A., 1991. Benthic macroinvertebrate communities in nonregulated and regulated waters of the clearwater river, Idaho, U.S.A. *Regul Rivers Res Manage* 6, 1-11.
- Nichols, S., Norris, R., Maher, W., Thoms, M., 2006. Ecological Effects of Serial Impoundment on the Cotter River, Australia. *Hydrobiol* 572, 255-273.
- Oden, N.L., 1984. Assessing the Significance of a Spatial Correlogram. *Geogr Anal* 16, 1-16.
- Palmer, M.W., 1990. The Estimation of Species Richness by Extrapolation. *Ecol* 71, 1195-1198.
- Palmer, M.W., 1991. Estimating Species Richness: The Second-Order Jackknife Reconsidered. *Ecol* 72, 1512-1513.
- Pamplin, P.A.Z., Almeida, T.C.M., Rocha, O., 2006. Composition and distribution of benthic macroinvertebrates in Americana Reservoir (SP, Brazil). *Acta Limnol. Bras.* 18, 121-132.
- Pérez, G.P., 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Presencia Ltda, Bogotá.
- Peterson, A., 1960. Larvae of Insects. An Introduction to Nearctic Species. Columbus, Ohio.
- Prado, R.B., 2002. Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água integrado, Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento RiMa, São Carlos.

- Rangel, T.F., Diniz, J.A.F., Bini, L.M., 2010. SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. *Ecogr* 33, 46-50.
- Rehn, A.C., 2009. Benthic macroinvertebrates as indicators of biological condition below hydropower dams on west slope Sierra Nevada streams, California, USA. *River Res Appl* 25, 208-228.
- Ricklefs, R.E.A., 2010. *A Economia da Natureza*, 6th ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Rocha, O., Espíndola, E.L.G., Rietzler, A.C., Fenerich-Verani, N., Verani, J.R., 2011. Animal Invaders in São Paulo State Reservoirs. *Oecol Austr* 15, 712-723.
- Schiavone, D.C., T. E. G. Monzane, J. V. Lucca, 2012. Inventário taxonômico preliminar da comunidade bentônica nos reservatórios do rio Jaguari e do rio Jacaré - Sistema Cantareira SABESP. *Fórum Ambiental da Alta Paulista* 8, 223-234.
- Shao, M.-L., Xie, Z.-C., Han, X.-Q., Cao, M., Cai, Q.-H., 2008. Macroinvertebrate Community Structure in Three-Gorges Reservoir, China. *Int Rev Hydrobiol* 93, 175-187.
- StatSoft, 2007. *STATISTICA* (data analysis software system), 8.0 ed.
- Suguió, K., 1973. *Introdução à sedimentologia*. EDUSP, São Paulo.
- Tiemann, J.S., Gillette, D.P., Wildhaber, M.L., Edds, D.R., 2004. Effects of lowhead dams on riffle-dwelling fishes and macroinvertebrates in a midwestern river. *T Am Fish Soc* 133, 705-717.
- Trivinho-Strixino, S., 2011. *Larvas de Chironomidae. Guia de identificação*. Depto Hidrobiologia/Lab. Entomologia Aquática/UFSCar., São Carlos.

- Trivinho-Strixino, S., Sonada, K.C., 2006. A new *Tanytarsus* species (Insecta, Diptera, Chironomidae) from São Paulo State, Brazil. *Biota Neotrop* 6, 1-9.
- Tucci, C.E.M., Hespanhol, I., Netto, O.M.C., 2001. *Gestão da água no Brasil*. UNESCO, Brasília.
- Tundisi, J.G., 2006. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios – Estudos de caso e perspectivas., in: Nogueira, M.G., R. Henry., A. Jorcin. (Ed.), *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata.*, 2a ed. Rima, São Carlos.
- Turner, M.G., O'Neill, R.V., Gardner, R.H., Milne, B.T., 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecol* 3, 153-162.
- USEPA, 1998. *Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria: Technical Guidance Document* (EPA 841-B-98-007). Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Washington, DC.
- USEPA, 2004. *Classification framework for coastal systems*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development pp. 1-85.
- USEPA, 2011. *2012 National Lakes Assessment. Field Operations Manual*. EPA 841-B-11-003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Vinson, M.R., 2001. Long-term dynamics of an invertebrate assemblage downstream from a large dam. *Ecol Appl* 11, 711-730.
- Wilcox, D.A., Meeker, J.E., 1992. Implications for Faunal Habitat Related to Altered Macrophyte Structure in Regulated Lakes in Northern Minnesota. *Wetl* 12, 192-203.
- Winkler, L.W., 1888. Die Bertimmung des im wasser gelösten Sauer-stoffs. *Ber Dtsch Chem Ges* 21, 2843-2854.

Wu, J., Gao, W., Tueller, P.T., 1997. Effects of changing spatial scale on the results of statistical analysis with landscape data: A case study. *Geogr Inf Sci* 3, 30-41.

Zar, J.H., 1996. *Biostatistical analysis*, 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey.

CONCLUSÕES

- O reservatório é composto por sítios amostrais em diferentes níveis de distúrbios em macro e mesoescalas.
- A classificação de sítios amostrais em diferentes níveis de distúrbios não é correspondente entre macro e mesoescalas.
- Não foi observada relação entre a distribuição dos macroinvertebrados bentônicos e os níveis de distúrbios nas escalas avaliadas.
- Os diferentes métodos de amostragem apresentaram estimativas semelhantes de riqueza de famílias de macroinvertebrados bentônicos.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Recomenda-se que futuras pesquisas atentem aos seguintes aspectos:

- Acompanhar populações de indivíduos exóticos, e em pesquisas no reservatório de Três Marias é indicado que as áreas de ocorrência de espécies exóticas sejam avaliadas, principalmente, em relação ao nível de distúrbio.
- Utilizar macro, meso e microescalas espaciais em avaliações de qualidade ambiental.
- Diagnosticar sítios que representem áreas prioritárias para conservação (baixo distúrbio) em ecossistemas artificiais.

- Estender o acompanhamento de comunidades bentônicas em ecossistemas artificiais, considerando a viabilidade da utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental.
- Avaliar a influência das flutuações do nível da água sobre produtividade, riqueza e diversidade de organismos e sobre a qualidade da água.
- Utilizar abordagens integradoras na avaliação de qualidade ambiental, que possibilitem inclusive a comparação da qualidade entre reservatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbour, M.T., Stribling, J.B., Karr, J.R., 1999. Rapid bioassessment protocol for use in streams and wadable rivers. Environmental Protection Agency, EPA 841-B-99-002, Washington D.C.

Busch, W.D.N., Lary, S.J., 1996. Assessment of habitat impairments impacting the aquatic resources of Lake Ontario. *Can J Fish Aquat Sci* 53, 113-120.

Callisto, M., Moretti, M., Goulart, M., 2001. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Rev Bras Recur Hídric* 6, 71-82.

Callisto, M., Gonçalves, J.F.Jr., Moreno, P., 2004. Invertebrados aquáticos como bioindicadores, Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais. UFMG, Belo Horizonte, pp. 1-12.

Gerritsen, J., Carlson R.E., Dycus, D.L., Faulkner, C., Gibson, G.R., Harcum, J., A., Markowitz, S.A., 1998. Lake and reservoir bioassessment and biocriteria: Technical guidance document. U.S. Environmental Protection Agency., Washington, D. C.

Godoi, A.F.L., R. Favoreto, M. Santiago-Silva, 2003. Contaminação ambiental por compostos organoestênicos. *Quim Nova* 26, 708-716.

- Hein, L., van Koppen, K., de Groot, R.S., van Ierland, E.C., 2006. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecol Econ* 57, 209-228.
- Karr, J.R., Fausch, K. D., Angermeier, P. L., Yant, P. R., Schlosser, I. J., 1986. *Assessing Biological Integrity in Running Waters: A Method and Its Rationale*. Illinois Natural History Survey, Illinois.
- Oberdorff, T., Hughes, R.M., 1992. Modification of an Index of Biotic Integrity Based on Fish Assemblages to Characterize Rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiol* 228, 117-130.
- O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T., Jones, K.B., Riitters, K.H., Wickham, J.D., Schwartz, P.M., Goodman, I.A., Jackson, B.L., Baillargeon, W.S., 1997. Monitoring environmental quality at the landscape scale. *Biosci* 47, 513-519.
- Ribeiro-Filho, R.A., Petrere, M., Benassi, S.F., Pereira, J.M.A., 2011. Itaipu Reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables. *Braz J Biol* 71, 889-902.
- Straskraba, M., Tundisi, J. G., 2000. Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos. in: *Ecologia*, 2ª ed., São Carlos.
- Tansley, A.G., 1935. The use and abuse of vegetational terms and concepts. *Ecol* 16.
- Tundisi, J.G., 1999. Reservatórios como sistemas complexos: Teoria Aplicações e Perspectivas para usos múltiplos., in: Henry, R. (Ed.), *Ecologia de Reservatórios: estrutura, funções e aspectos sociais*. FAPESP, Botucatu.
- Tundisi, J.G., 2006. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios – Estudos de caso e perspectivas., in: Nogueira, M.G., R. Henry., A. Jorcin. (Ed.), *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. 2ª ed. Rima, São Carlos.

Tundisi, J.G., Matsumura-Tundisi, T. M. , 2008. *Limnologia*. Oficina de textos, São Paulo.

Turner, M.G., O'Neill, R.V., Gardner, R.H., Milne, B.T., 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecol* 3, 153-162.

USEPA, 2002. Using Habitat Data as Indicators of Water Quality. In: *Consolidated Assessment and Listing Methodology: Toward a Compendium of Best Practices*. , 1st ed. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds. Washington, D.C.

Wallace, J.B., Webster, J.R., 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annu Rev Entomol* 41, 115-139.

ANEXO 1

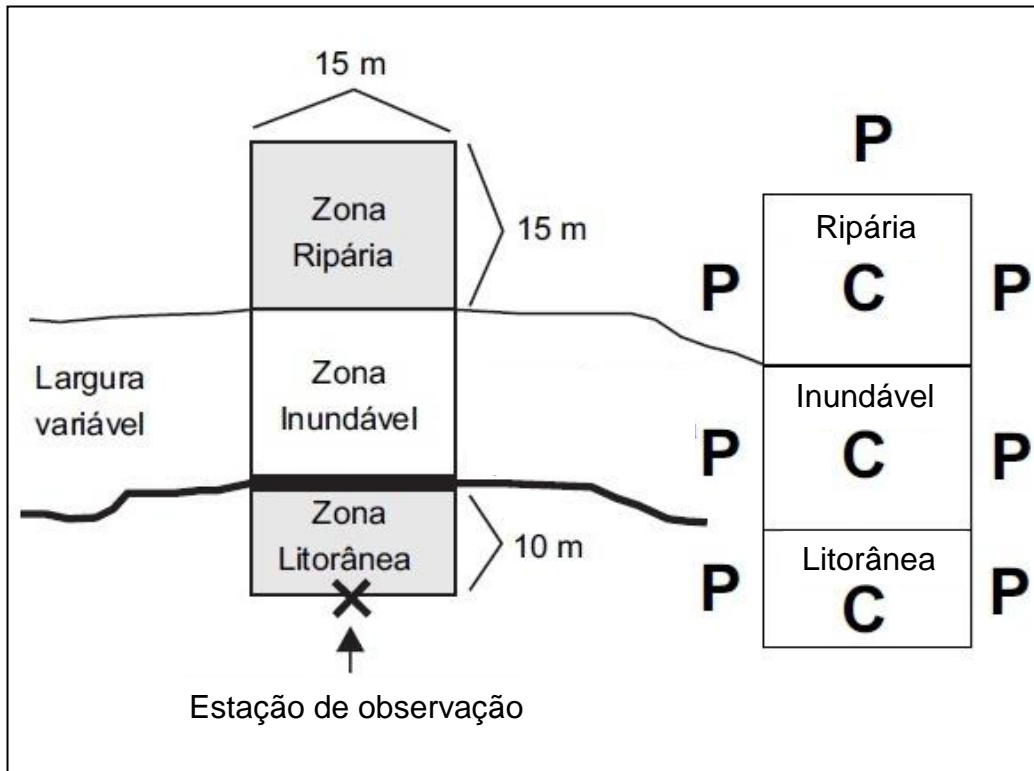


Figura 1 - Unidade de amostragem de habitats físicos em reservatórios. C (característica dentro da parcela) e P (característica fora da parcela). Modificado de USEPA (2011).

ANEXO 2

Tabela 1 – Métricas utilizadas na caracterização de habitats físicos do reservatório de Três Marias, Minas Gerais.

Índice	Descrição do índice	Variação	Métricas variantes	Descrição das métricas variantes
<i>RDis_IX</i> – Índice de distúrbio humano na região de margem (<i>Shoreline human disturbance index</i>)	Avalia a presença de atividades humanas dentro e fora da parcela avaliada.	0 (ausência de distúrbio) a 1 (total ocorrência de distúrbio).	<i>RDis_IX_Veg</i>	Considera atividades humanas na zona ripária.
			<i>RDis_IX_Inu</i>	Considera atividades humanas na região inundável.
			<i>RVegQ_2</i>	Considera a cobertura do dossel, bosque e sub-bosque e vegetação inundada.
<i>RVegQ</i> – Índice de complexidade de cobertura ripária (<i>Riparian cover complexity index</i>)	Avalia a proporção de vegetação ripária no dossel, bosque, sub-bosque e vegetação rasteira, a ocorrência de substratos grandes (rocha e matacão) e vegetação inundada.	0 (ausência de cobertura vegetal) a 1 (máxima cobertura vegetal em múltiplos estratos em todos os transectos).	<i>RVegQ_7</i>	Considera a cobertura do bosque e sub-bosque e a vegetação inundada.
			<i>RVegQ_8</i>	Considera a cobertura do dossel, bosque e sub-bosque, árvores grandes do dossel, vegetação inundada e substratos de rocha e matacão.
			<i>LitCvrQ_b</i>	Considera todos os tipos de macrófitas aquáticas, substratos, vegetação e madeiras.
<i>LitCvrQ</i> – Índice de complexidade de cobertura litorânea (<i>Littoral cover complexity index</i>)	Avalia a cobertura litorânea quanto à presença de macrófitas aquáticas e de componentes de cobertura de origem não-antropogênica (substratos, vegetação e madeiras).	0 (ausência de cobertura litorânea por substratos, vegetação, madeiras e macrófitas) a 1 (máxima cobertura litorânea em todos os transectos).	<i>LitCvrQ_c</i>	Considera macrófitas aquáticas emergentes e flutuantes, substratos, vegetação e madeiras.
			<i>LitCvrQ_d</i>	Considera macrófitas aquáticas emergentes e flutuantes, e elementos específicos quanto a substratos, vegetação e madeiras.
<i>LitRipCvQ</i> - Índice de complexidade de cobertura das zonas ripária e litorânea (<i>Littoral-Riparian Cover Complexity Index</i>)	Combina pares de métricas que compõem os índices, sendo cada par composto por uma métrica de complexidade de cobertura ripária e litorânea.	0 (ausência de coberturas ripária e litorânea) a 1 (coberturas ripária e litorânea máximas).	<i>RVegQ_2</i> <i>RVegQ_7</i> <i>RVegQ_8</i> <i>LitCvrQ_b</i> <i>LitCvrQ_c</i> <i>LitCvrQ_d</i>	Descrição acima