Pequena Central Hidrelétrica de Pandeiros e seu efeito sobre moluscos aquáticos invasores

Marden Seabra Linares[1,2], Marcos Callisto[1]

Resumo

Uma das maiores ameaças para a biodiversidade é a introdução de espécies invasoras. Essas espécies ameaçam as espécies nativas e causam grandes prejuízos econômicos. Sua presença está intimamente relacionada a represas hidrelétricas, pois estas alteram substancialmente os ecossistemas fluviais e sua biota. No entanto, a maioria dos estudos sobre seus impactos ecológicos é baseada em grandes barragens e fornece pouca informação sobre a relação de espécies invasoras com pequenas centrais hidrelétricas, que são muito mais abundantes e numerosas no Brasil. O objetivo desse trabalho foi caracterizar os efeitos da PCH Pandeiros sobre a distribuição de moluscos invasores no rio Pandeiros. Esperou-se encontrar espécies nativas sensíveis associadas aos locais de curso livre, enquanto que os taxóns resistentes e invasores eram esperados em locais afetados pela barragem. Descobriu-se que a estrutura das assembléias de macroinvertebrados bentônicos foi significativamente diferente entre os sítios amostrais de curso livre e os afetados pela barragem. Além disso, decobriu-se que a represa e o reservatório facilitaram a colonização de duas espécies invasoras (*Corbicula fluminea* e *Melanoides tuberculata*) porque somente nesses locais elas foram encontradas em alta abundância. No entanto, embora a barragem tenha tido efeitos significativos na estrutura das assembléias de macroinvertebrados bentônicos, esses efeitos foram limitados a locais próximos à barragem. Os resultados também destacam a necessidade de compreender as mudanças físicas de habitat causadas pela presença e manejo de barragens e reservatórios a fio d'água. Recomenda-se o descomissionamento da PCH Pandeiros como medida de gestão ambiental para restabelecer a diversidade de habitats para espécies nativas e como medida mitigadora para as espécies invasoras de moluscos aquáticos.

Palavras-chave: bioindicadores, *Corbicula flumínea,* espécies invasoras, macroinvertebrados bentônicos, *Melanoides tuberculata.*

Abstract

One of the biggest threats to biodiversity is the introduction of invasive species. These species threaten native species and cause great economic damage. Their presence is closely related to that of hydropower dams, which substantially alter river ecosystems and their biota. However, most studies of their ecological impacts are based on large dams and provide little information on the relationship between invasive species and small hydropower dams, which are much more abundant and numerous in Brazil. Our objective was to characterize the effects of Pandeiros small hydropower dam on the distribution of invasive mollusks in the Pandeiros River. We expected to find sensitive native species associated with free-flowing sites, while resistant and invasive taxa were expected at sites affected by the dam. We found that the structure of benthic macroinvertebrate assemblages was significantly different between the free-flowing and dam-affected sites. In addition, we found that the dam and reservoir facilitated the colonization of two invasive species (*Corbicula fluminea* and *Melanoides tuberculata*) because only in these sites they were found in high abundance. However, although the dam had significant effects on the structure of benthic macroinvertebrate assemblages, these effects were limited to sites near to the dam. Our results also highlight the need to understand the physical changes of habitat caused by the presence and management of dams and reservoirs. We recommend the decommissioning of the Pandeiros small hydropower dam as an environmental management measure to reestablish habitat diversity for native species and as a mitigating measure for aquatic mollusk invasive species.

Keywords: bioindicators, benthic macroinvertebrates, *Corbicula flumínea*, invasive species, *Melanoides tuberculata.*

[1,2]Universidade Federal de Minas Gerais, ICB, Depto. de Genética, Ecologia e Evolução; Lab. Ecologia de Bentos.
[2] Autor correspondente. mslx@hotmail.com

Introdução

A introdução de espécies exóticas invasoras é uma das maiores ameaças à biodiversidade em escala global, sendo superada apenas pela perda de habitat (SIMBERLOFF *et al.*, 2013). Ecossistemas de água doce são especialmente afetados por esse problema devido à proximidade histórica a centros urbanos, ações antrópicas em larga escala (como a construção de barragens) e ao frequente uso de estuários para construção de portos utilizados para o comércio internacional (JOHNSON *et al.*, 2008).

Espécies exóticas ou introduzidas são espécies liberadas por ação humana em um ambiente ou região geográfica fora de sua área de distribuição geográfica original, seja de forma intencional ou acidental (MACK *et al.*, 2000). Somente são consideradas espécies invasoras aquelas que, devido a características genéticas, fisiológicas e ecológicas que conferem tolerância à maioria dos fatores ambientais, possuem grande capacidade de se reproduzir e gerar descendentes férteis com alta probabilidade de sobrevivência, expandirem sua distribuição no novo habitat e ameaçarem a biodiversidade nativa (SIMBERLOFF, 2006).

Invasões biológicas são, portanto, um processo que altera a composição biótica de ecossistemas em escala global, causando mudanças profundas nos recursos naturais disponíveis para as sociedades humanas e na estrutura dos componentes de ecossistemas aquáticos (VITOUSEK, 1997). Com a intensificação do comércio a partir da segunda metade do século XX, as espécies invasoras têm se espalhado pelo planeta, ameaçando a biodiversidade local e "homogeneizando" a biodiversidade em escala global (KARATAYEV *et al.*, 2007).

Dentre os vários grupos de espécies invasoras em ecossistemas aquáticos os moluscos se destacam como um dos grupos mais bem sucedidos, graças à variabilidade de formas e às suas adaptações funcionais (BOLTOVSKOY *et al.*, 2009). Em decorrência do seu sucesso reprodutivo e consequente elevada capacidade de proliferação, moluscos aquáticos invasores tornaram-se pragas em diversas partes do mundo, causando significativos prejuízos econômicos em canais de irrigação, drenagem, bem como em indústrias que demandam grandes volumes de água para suas atividades (BOLTOVSKOY; CORREA, 2015).

Uma das principais causas do sucesso ecológico de moluscos invasores é a ubiqüidade de reservatórios nas bacias hidrográficas de todo o mundo. Reservatórios são ecossistemas artificiais, construídos com o propósito de oferecer reservas de água para múltiplas finalidades de uso pela sociedade humana, incluindo geração de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, transporte, irrigação, piscicultura e recreação (AGOSTINHO *et al.*, 2008). No Brasil existe mais de 600 reservatórios, a maior parte construída para atender à crescente demanda por energia, pois cerca de 70% da matriz energética do país é proveniente de usinas hidrelétricas (GOIS *et al.*, 2015). Esses ecossistemas artificiais apresentam condições ecológicas favoráveis às espécies invasoras e ao mesmo

tempo desfavoráveis às espécies nativas, que estão adaptadas a condições naturais de rio (SARDIÑA *et al.*, 2008). Assim, reservatórios acabam oferecendo um "trampolim" para espécies de moluscos invasores, facilitando sua expansão para áreas que, de outra forma, não seriam capazes de alcançar (JOHNSON *et al.*, 2008).

No entanto, os estudos que demonstram a relação entre moluscos invasores e reservatórios hidrelétricos são focados em reservatórios de grandes barragens, deixando uma lacuna no conhecimento com relação aos efeitos ecológicos de pequenas barragens (LINARES *et al.*, 2018). Devido à demanda crescente por fontes de energia renovável e por a maioria das áreas disponíveis para construção de grandes hidrelétricas já estarem ocupadas, nas últimas décadas o foco para a construção de novas barragens se voltou para a construção de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). (ABBASI; ABBASI, 2011; FEARNSIDE, 2014). Esta tendência tem se mostrado especialmente verdadeira no Brasil, onde o relativo baixo custo e facilidade de licenciamento ambiental aumentaram muito a construção de PCHs nas últimas décadas (ALMEIDA *et al.*, 2009), resultando em um total de 431 PCHs instaladas (representando 3,21% da energia elétrica gerada em território nacional) e outras 27 em construção (ANEEL, 2017).

Assim, é essencial para o planejamento e gestão ecológicos a compreensão dos efeitos de uma PCH sobre a ecologia de espécies de moluscos aquáticos invasores. Para tanto, a bacia do rio Pandeiros é um "laboratório natural" perfeito, devido à presença de uma PCH localizada em uma região sujeita a poucas ações antrópicas diretas. Assim, com esse trabalho buscou-se responder à pergunta "Quais os efeitos da PCH Pandeiros sobre a distribuição de moluscos invasores no rio Pandeiros? ". Foram utilizados bioindicadores bentônicos para responder a esta pergunta, pois métodos biológicos podem ser mais efetivos em subsidiar a proposição de medidas de manejo, fornecendo subsídios para decisões e estratégias de gestão ambiental (KARR, 1999).

Entre os organismos aquáticos utilizados como bioindicadores de qualidade de água, as comunidades de macroinvertebrados bentônicos têm sido cada vez mais empregadas (BONADA *et al.*, 2006). Destacam-se como bons indicadores biológicos devido às seguintes características: têm distribuição ampla, incluem diferentes grupos taxonômicos, encontram-se espécies com diferentes tolerâncias a distúrbios antrópicos, são relativamente numerosas e sedentárias, possuem ciclo de vida relativamente longo e são de fácil coleta (HEINO *et al.*, 2004).

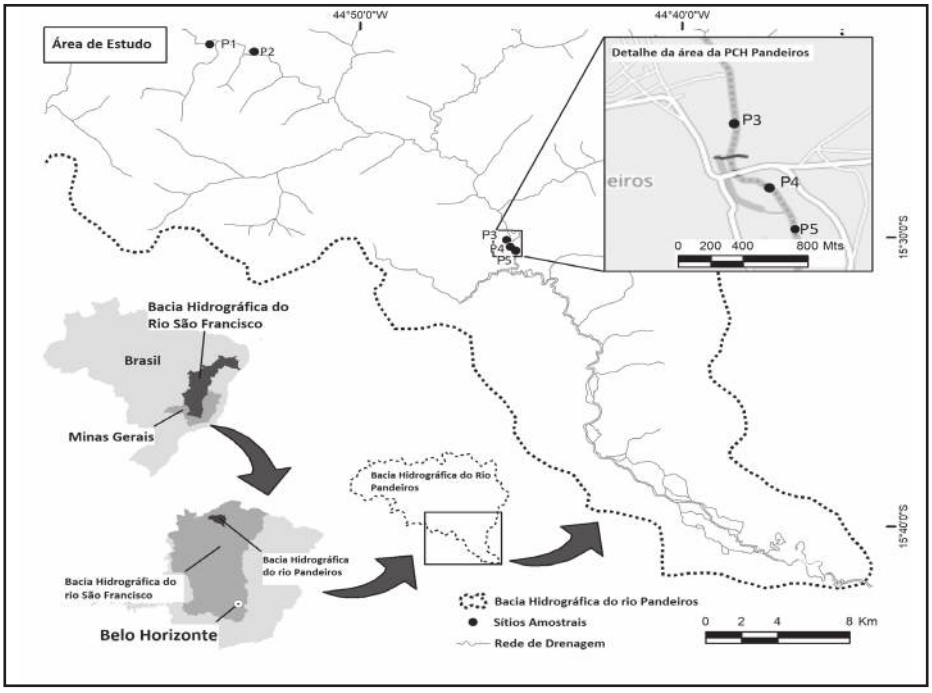
Este estudo foi desenvolvido durante os projetos P&D ANEEL/CEMIG GT-550 e GT-611, que têm como objetivo gerar dados ecológicos para o descomissionamento da PCH Pandeiros, o primeiro desta natureza na América do Sul. O descomissionamento de uma barragem é um processo amplo, que parte de uma avaliação dos potenciais ganhos e prejuízos ecológicos da eventual remoção até definir os métodos que devem ser utilizados para sua eventual remoção, de forma a maximizar os ganhos e minimizar os prejuízos para os ecossistemas afetados,

sua biodiversidade e bens e serviços ecossistêmicos para as populações ribeirinhas.

Metodologia e área de estudos

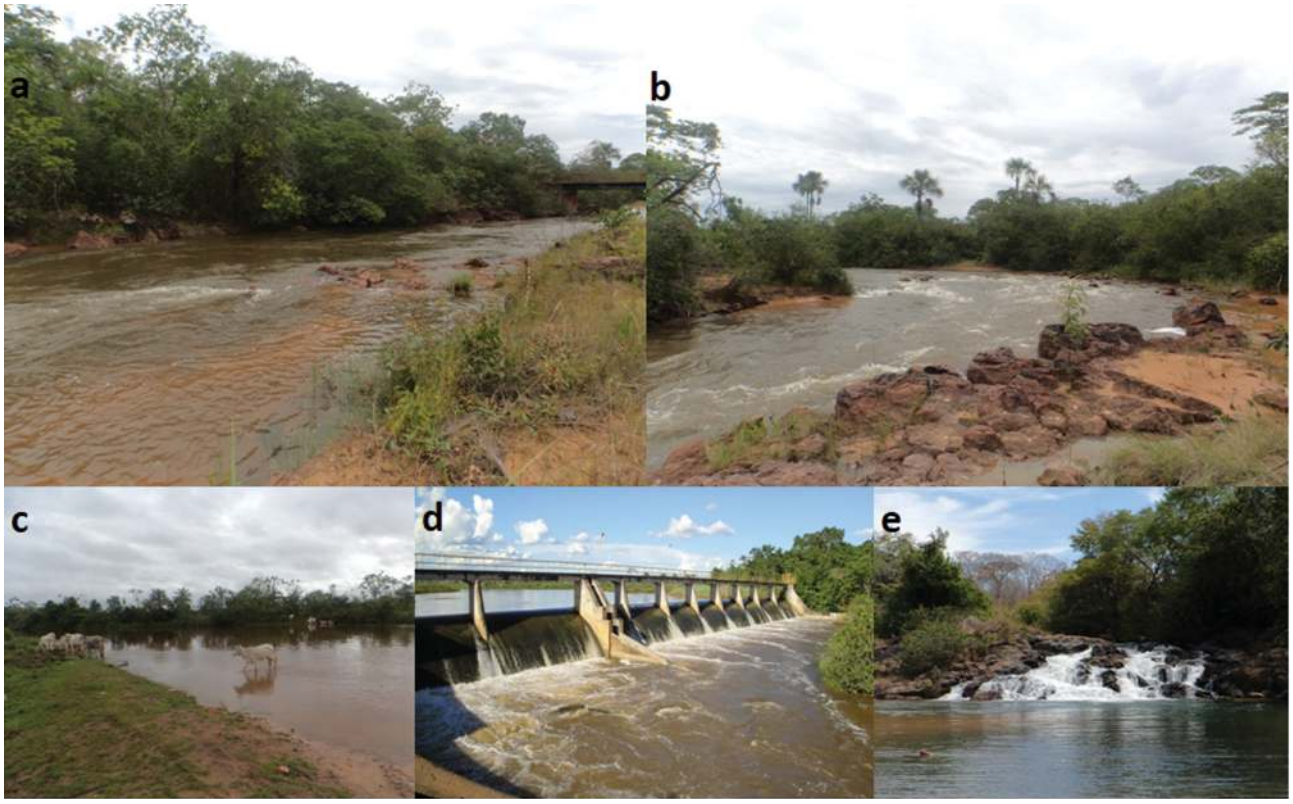
No rio Pandeiros foram determinados cinco sítios amostrais: dois em trecho de curso livre a montante do reservatório (P1 e P2), dois em trechos afetados diretamente pela barragem da PCH (P3 e P4) e um a jusante da barragem (P5) (MAPA 1). P1 e P2, Fotografia 1A e B, são localizados em trechos de fluxo livre, cerca de 20 e 12 km a montante da represa, respectivamente. São caracterizados por substrato de fundo arenoso, canal largo (> 5 m), reduzida profundidade (<1 m) e vegetação ripária bem preservada em ambas as margens. Os demais sítios amostrais estão localizados em trechos do rio que considerados influenciados pela barragem P3, Fotografia 1C, está localizado em um trecho no inicio do reservatório, 500 m a montante da represa. É caracterizado por substrato de fundo arenoso, reduzida profundidade (<2 m), canal mais largo (> 10 m), e nenhuma vegetação ribeirinha em suas margens, pois é ao lado de um assentamento humano. O P4, Fotografia 1D, está localizado a 50 m rio a jusante da barragem e é caracterizado por sedimento arenoso em uma matriz rochosa, maior profundidade (> 3 m), canal mais estreito (<5 m) e vegetação ribeirinha natural em ambas as margens. O P5, Fotografia 1E, está localizado 500 m a jusante da represa, abaixo de uma série de pequenas cascatas, e é caracterizado por substrato de fundo arenoso com bancos de macrófitas, reduzida profundidade (<1 m), canal largo (> 5 m) cercada por vegetação ripária esparsa e áreas desmatadas.

Mapa 1 – Área de estudo na bacia hidrográfica do rio Padeiros, Minas Gerais. Pontos de coleta (P1 a P5) assinalados no mapa



Fonte: Arquivo do Laboratório de Ecologia Bentos ICB/UFMG

Fotografia 1 – Sítios de coleta localizados na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, Minas Gerais



Legenda: Pontos de coleta - a - P1;
b - P2;
c - P3;
d - P4;
e - P5.

Fonte: Arquivo do Laboratório de Ecologia Bentos ICB/UFMG.

O rio Pandeiros é um importante afluente da margem esquerda do rio São Francisco, com extensão aproximada de 145 km. A região alagada e as veredas no rio Pandeiros estão entre as áreas prioritárias para conservação do bioma cerrado, sendo também considerada de Importância Biológica Especial, por constituírem-se em ambientes únicos no estado e possuírem alta riqueza de espécies (DRUMMOND *et al.,* 2005). A PCH Pandeiros foi instalada no rio de mesmo nome em 1957 e encontra-se desativada. Seu reservatório apresenta área de 280 hectares e sua barragem, de crista livre, altura máxima de 10,30 metros. Sua casa de força localiza-se a cerca de 400 metros a jusante da barragem e, quando em operação, o aproveitamento a fio d'água turbinava até 35 m^3/s, com potência de 4,2 MW (FONSECA *et al*., 2008).

Por sua potencial importância para o recrutamento das espécies de peixes na bacia do São Francisco, em 1992 foi promulgada a Lei Estadual Nº 10.629 que estabeleceu o conceito de rio de preservação permanente e declarou o enquadramento do rio Pandeiros nesta categoria. Em janeiro de 1995 foi criada a Área de Proteção Ambiental do rio Pandeiros - APA Pandeiros, com 380.000 hectares, englobando a área da PCH, com o objetivo de proteger o Pântano de Pandeiros

(Lei Estadual Nº 11.901). Em 2004, por meio do Decreto Estadual Nº43.910, foi criado o Refúgio Estadual de Vida Silvestre do rio Pandeiros, unidade de conservação de proteção integral.

Em cada ponto amostral foram coletadas quatro sub-amostras comum amostrador do tipo kick-net (30 cm de abertura, 500µm de malha, área de 0,09 m²). Foram realizadas seis campanhas amostrais, três no período chuvoso (dez/14, jan/15 e fev/15) e três no período seco (set/14, abr/15 e jun/15). Em laboratório as amostras foram lavadas, triadas e os macroinvertebrados bentônicos foram identificados em estereomicroscópio com o apoio de literatura específica (MERRITT & CUMMINS 1996; MUGNAI *et al.,* 2010; HAMADA *et al.,* 2014). Os espécimes foram identificados até os níveis de gêneros ou famílias, exceto os moluscos aquáticos invasores, que foram identificados até espécie. Os espécimes foram então fixados em álcool 70% e depositados na Coleção de Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais.

Para avaliar quais os efeitos da PCH Pandeiros sobre a distribuição de moluscos invasores no rio Pandeiros, foram testados estatisticamente, se as assembléias de macroinvertebrados bentônicos nos trechos afetados pela barragem possuem composição taxonômica diferente daquela encontrada nos trechos de curso livre. Para tanto utilizou-se dois tipos de teste estatístico: (1) uma análise de contrastes pareados PERMANOVA (ANDERSON, 2001), para testar variações na composição geral das assembléias; (2) uma análise de táxons indicadores (Indval), para identificar associações entre táxons e sítios amostrais (DUFRENE & LEGENDRE, 1997). Para todas as análises foi utilizado o intervalo de confiança padrão para estudos científicos ($p<0,05$).

Resultados

Coletou-se 34.851 macroinvertebrados bentônicos identificados em 68 táxons, dentre os quais duas espécies de moluscos aquáticos invasores, *Curbicula fluminea* (Bivalvia, Curbiculidae), Fotografia 2 e *Melanoides tuberculata* (Gastropoda, Thiaridae) (FOTOGRAFIA 3). Com relação à composição taxonômica das assembleias de macroinvertebrados bentônicos, isto é, os táxons que foram em cada sítio amostral, Tabela 1, os resultados mostraram que os dois sítios amostrais de curso livre (P1 e P2) não apresentaram diferenças significativas entre si. Os dois sítios amostrais localizados em trechos afetados diretamente pela barragem (P3 e P4) se mostraram com uma composição taxonômica significativamente diferente de todos os sítios amostrais, incluindo um ao outro. Por outro lado, o sítio amostral mais a jusante (P5) mostrou-se significativamente diferente de P1, mas não de P2.

Fotografia 2 – Indivíduos de *Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbiculidae)



Fonte: Arquivo do Laboratório de Ecologia Bentos ICB/UFMG

Fotografia 3 – Indivíduos de *Melanoides tuberculata* (Gastropoda, Thiaridae)



Fonte: Arquivo do Laboratório de Ecologia Bentos ICB/UFMG

Tabela 1 - Resultados da análise de contrastes pareados PERMANOVA, onde a composição taxonômica da assembleia de macroinvertebrados bentônicos de cada sítio amostral foi comparada em pares com a dosoutros sítios amostrais

Pares	p
P1 vs P2	0,285
P1 vs P3	**0,018**
P1 vs P4	**0,013**
P1 vs P5	**0,021**
P2 vs P3	**0,022**
P2 vs P4	**0,030**
P2 vs P5	0,081
P3 vs P4	**0,020**
P3 vs P5	**0,028**
P4 vs P5	**0,034**

NOTA: Valores marcados em negrito representam diferenças significativas (p<0.05).

Com relação à análise de táxons indicadores, Tabela 2, P1 e P2 foram consistentemente associados apenas com táxons nativos e sensíveis, como Helicospychidae (Trichoptera) e Empididae (Diptera), respectivamente. P3 e P4, no entanto, foram ambos associados à presença dos moluscos aquáticos invasores *Melanoides tuberculata* (MULLER, 1774; Thiaridae) e *Corbicula fluminea* (MULLER, 1774; Corbiculidae), respectivamente, bem como com a presença de outros táxons resistentes, como os gastrópodes nativos das famílias Ampulariidae, Planorbidae, Physidae (P3) e Hydrobiidae (P4). Similarmente aos sítios amostrais de curso livre, P5 foi associado a táxons nativos e sensíveis, como Elmidae (Coleoptera), Leptohyphidae e Leptophlebiidae (Ephemeroptera).

Tabela 2 - Resultados da análise de táxons indicadores (Indval)

Sítios Amostrais	Táxons	IndVal	p
P1	Coenagrionidae	0,67391	**0,0003**
	Helicopsychidae	0,51874	**0,0198**
P2	Empididae	0,59649	**0,0108**
P3	*Melanoides tuberculata*	0,96219	**0,0001**
	Ampulariidae	0,83333	**0,0003**
	Physidae	0,66667	**0,0026**
	Planorbidae	0,64762	**0,0033**
	Hirudinea	0,47325	**0,0150**
P4	Gyrinidae	0,67708	**0,0037**
	Hydrobiidae	0,67619	**0,0021**
	Calopterigidae	0,61728	**0,0008**
	Corbicula fluminea	0,58333	**0,0045**
	Caenidae	0,55556	**0,0082**
	Pleidae	0,50000	**0,0071**
P5	Simuliidae	0,78652	**0,0005**
	Elmidae	0,68646	**0,0002**
	Naucoridae	0,64141	**0,0009**
	Leptohyphidae	0,57383	**0,0006**
	Pyralidae	0,52294	**0,0099**
	Leptophlebiidae	0,47393	**0,0105**

NOTA: Valores marcados em negrito representam valores significativas (p<0.05).

Discussão

Os resultados evidenciam que a composição taxonômica nos sítios amostrais diretamente influenciados pela barragem da PCH Pandeiros foram significativamente diferentes dos sítios de curso livre. Mais interessante, no entanto, foi o resultado de que as espécies invasoras e os táxons resistentes estão associados aos sítios amostrais diretamente afetados pela barragem da PCH Pandeiros.

Apesar de estar localizado em um reservatório pequeno a fio d'água com tempo de residência mínimo (FONSECA *et al.,* 2008), no sítio amostral P3 encontrou-se diferenças significativas na estrutura taxonômica das assembleias de macroinvertebrados bentônicos em relação aos demais sítios amostrais, além de estar associado apenas a táxons resistentes (p.ex. Ampulariidae, Hirudinea, Planorbidae) e à espécie invasora *Melanoides tuberculata*. Essas diferenças na estrutura taxonômica das assembleias de macroinvertebrados bentônicos são resultado de alterações no habitat físico do rio, incluindo diminuição na velocidade da correnteza e perda da conexão com lagoas marginais, causadas pela presença da barragem (CHESTER; NORRIS, 2006; KLOEHN *et al.,* 2008; VAN LOOY *et al*., 2014). Isso demonstra que, em uma escala local, mesmo PCHs podem causar impactos ao ecossistema fluvial, além de fragmentação ao transporte natural de água, sedimentos e biota.

Com relação à extensão da influência da barragem a jusante da PCH de Pandeiros, foram observados que seus efeitos são altamente localizados. P4, localizado a menos de 50m a jusante da barragem, mostrou uma estrutura taxonômica significativamente diferente dos trechos de curso livre (P1 e P2), bem como associação à espécie invasora *Corbicula fluminea*. Porém, P5, a cerca de 500m a jusante da barragem, mostrou uma estrutura semelhante a um dos sítios amostrais de curso livre, P2, e suas diferenças ao outro, P1, podem ser atribuídas à variância natural ao longo do canal do rio. Esses resultados sugerem que os efeitos ecológicos da presença da PCH Pandeiros são locais, uma vez que não foram detectados a 500m a jusante. Esta recuperação rápida da composição e estrutura das assembleias de macroinvertebrados bentônicos pode ser a explicação do porquê de alguns estudos (ANDERSON *et al.,* 2015; MBAKA; WANJIRU MWANIKI, 2015) não mostrarem impactos significativos da presença de PCHs. Esses autores também sugerem que, apesar de espacialmente limitados, os impactos de uma PCH são localmente significativos.

A presença das espécies invasoras é outra conseqüência da presença da barragem da PCH Pandeiros e de seu reservatório. Tanto *Corbicula fluminea* quanto *Melanoides tuberculata*, são comumente encontrados na bacia do rio São Francisco, da qual o rio Pandeiros é afluente (FERNANDEZ *et al.,* 2003; RODRIGUES *et al.,* 2007). Porém, no canal principal do rio Pandeiros estas espécies foram encontradas em grandes números apenas nos trechos afetados pela barragem (LINARES *et al.,* 2018). Isso sugere que a barragem e o reservatório facilitam a

colonização e persistência destas espécies no rio Pandeiros (JOHNSON *et al.,* 2008; OLIVEIRA *et al.,* 2011; LINARES *et al.,* 2018).

Conclusão

Concluiu-se que uma PCH pode causar distúrbios significativos à estrutura taxonômica de assembleias de macroinvertebrados bentônicos, facilitando a colonização e persistência de moluscos aquáticos invasores. Estas barragens podem servir como "trampolins" para ampliar a distribuição de espécies invasoras em uma bacia hidrográfica. O descomissionamento da PCH Pandeiros é, do ponto de vista de comunidades bentônicas, recomendado como medida de gestão de recursos hídricos, permitindo recomposição do canal fluvial e livre distribuição de espécies nativas, reduzindo a ocorrência de espécies invasoras de moluscos aquáticos.

Referências

ABBASI, T., S. A.; ABBASI. Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v.15, p. 2134–2143, 2011 http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.050.

AGOSTINHO, A., F. PELICICE; L. GOMES. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. **Brazilian Journal of Biology,** v.68, p. 1119–1132, 2008. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151969842008000500019&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

ALMEIDA, E. F., R. B. OLIVEIRA, R. MUGNAI, J. L. NESSIMIAN, ; D. F. BAPTISTA. Effects of small dams on the benthic community of streams in an atlantic forest area of Southeastern Brazil. **International Review of Hydrobiology** v. 94, p. 179–193, 2009. http://doi.wiley.com/10.1002/iroh.200811113.

ANDERSON, M.J. A new method of non-parametric multivariate analysis of variance**. Austral Ecology,** v. 26, n.1, p. 32-46. 2001.

ANDERSON, D., H. MOGGRIDGE, P. WARREN; J. SHUCKSMITH. The impacts of "run-of-river" hydropower on the physical and ecological condition of rivers. **Water and Environment Journal,** v. 29, p. 268–276, 2015 http://doi.wiley.com/10.1111/wej.12101.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA – ANEEL. **Capacidade de geração do Brasil**. Brasilia Banco de Informações de Geração - BIG. Disponivel em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm. Acesso em: 16/10/2017.

BOLTOVSKOY, D.; N. CORREA, Ecosystem impacts of the invasive bivalve Limnoperna fortunei (golden mussel) in South America. **Hydrobiologia**, v. 746, p. 81–95, 2015. Disponivel em: http://link.springer.com/10.1007/s10750-014-1882-9.

BOLTOVSKOY, D., A.; KARATAYEV, L.; BURLAKOVA, D.; CATALDO, V.; KARATAYEV, F.; SYLVESTER, A. MARIÑELAREN, A. Significant ecosystem-wide effects of the swiftly spreading invasive freshwater bivalve Limnoperna fortunei. **Hydrobiologia** v. 636, p. 271–284, 2009. Disponivel em: http://link.springer.com/10.1007/s10750-009-9956-9.

BONADA, N., N. PRAT, V. H. RESH ; B. STATZNER, Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, v. 51,p. 495–523, 2006. Disponivel em:http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124.

CHESTER, H. ; R. NORRIS,. Dams and Flow in the Cotter River, Australia: Effects on Instream Trophic Structure and Benthic Metabolism. **Hydrobiologia**, v. 572, p. 275–286. 2006 Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/s10750-006-0219-8

DRUMMOND, G. M., C. S. MARTINS, A. B. M. MACHADO, F. SEBAIO, Y. ANTONINI, **Biodiversidade em Minas Gerais:** um atlas para sua conservação. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas. 2005. 222 p.

DUFRENE, M., P. LEGENDRE,. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs** v. 67, p. 345-366. 1997 Disponivel em: http: //www.jstor.org/stable/2963459?origin=crossref.

FEARNSIDE, P. M., Impacts of Brazil's Madeira River Dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Science and Policy Elsevier Ltd** v. 38, p. 164–172, 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.004.

FERNANDEZ, M. A., S. C. T.; L. R. L. S.. Distribution of the introduced freshwater snail Melanoides turbeculatuus (Gastropoda: Thiaridae) in Brazil. **The Nautilus**, v.117, n.3, p. 78–82. 2003.

FONSECA, E. M. B.; GROSSI, W. R.; FIORINE, R. A.; PRADO, N. J. S. PCH Pandeiros: uma complexa interface com a gestão ambiental regional. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 6., 2008, Belo Horizonte. **Anais** [...] MG. 2008. p 1-16.

GOIS, K. S., F. M. PELICICE, L. C. GOMES; A. A. AGOSTINHO,. Invasion of an Amazonian cichlid in the Upper Paraná River: facilitation by dams and decline of a phylogenetically related species. **Hydrobiologia** v. 746, p. 401–413. 2015. Disponivel em: http://link.springer.com/10.1007/s10750-014-2061-8.

HAMADA, N., J. L. NESSIMIAN; R. B.QUERINO, **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira:** taxonomia, biologia e ecologia. Manaus: Editora do INPA, 2014.

HEINO, J., P. LOUHI; T. MUOTKA, Identifying the scales of variability in stream macroinvertebrate abundance, functional composition and assemblage structure. **Freshwater Biology,** v. 49: p. 1230–1239. 2004.

JOHNSON, P. T., J. D. OLDEN; M. J. VANDER ZANDEN. Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions into freshwaters. **Frontiers in Ecology and the Environment** v.6, n.7, p. 357–363, 2008. Didponivel em: http://doi.wiley.com/10.1890/070156.

KARATAYEV, A. Y., D. K. PADILLA, D. MINCHIN, D. BOLTOVSKOY; L. E. BURLAKOVA. Changes in global economies and trade: the potential spread of exotic freshwater bivalves. **Biological Invasions,** v. 9, p. 161–180, 2007 http://link.springer.com/10.1007/s10530-006-9013-9.

KARR, J. R., Defining and measuring river health. **Freshwater Biology**, v. 41, p. 221–234. 1999.

KLOEHN, K. K., T. J. BEECHIE, S. A. MORLEY, H. J. COE; J. J. DUDA, Influence of dams on river-floodplain dynamics in the Elwha River, Washington. **Northwest Science** v. 82, p. 224–235, 2008. http://www.bioone.org/doi/abs/10.3955/0029-344X-82.S.I.224.

LINARES, M. S., M. CALLISTO & J. C. MARQUES, Thermodynamic based indicators illustrate how a run-of-river impoundment in neotropical savanna attracts invasive species and alters the benthic macroinvertebrate assemblages complexity. **Ecological Indicators** v. 88, p. 181–189, 2018. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.040.

MACK, R. N., D. SIMBERLOFF, W. MARK LONSDALE, H. EVANS, M. CLOUT; F. A. BAZZAZ. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. **Ecological Applications**, v.10, p. 689–710. 2000 http://doi.wiley.com/10.1890/0012-9623(2005)86[249b:IIE]2.0.CO;2.

MBAKA, J. G.; M. WANJIRU MWANIKI. A global review of the downstream effects of small impoundments on stream habitat conditions and macroinvertebrates. **Environmental Reviews,** v. 23,p. 257–262, 2015. http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/er-2014-0080.

MERRITT, R. W., CUMMINS, K.W.. **An introduction to the aquatic insects of North America.** 3. ed. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing. 1996.

MUGNAI, R., J. L. NESSIMIAN; D. F. BAPTISTA. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Technical Books Editora: 2010.

OLIVEIRA, M. D., D. F. Calheiros, C. M. Jacobi & S. K. Hamilton, Abiotic factors controlling the establishment and abundance of the invasive golden mussel Limnoperna fortunei. **Biological Invasions**, v. 13,

p. 717–729, 2011. http://link.springer.com/10.1007/s10530-010-9862-0.

RODRIGUES, J., O. PIRES-JUNIOR, M. COUTINHO, M. MARTINS-SILVA. First occurrence of the Asian Clam Corbicula fluminae (Bivalvia: Corbiculidae) in the Paranoá Lake, Brasília. **Brazilian Journal of Biology** v. 67, p. 789–790. 2007. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842007000400032&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

SARDIÑA, P., D. H. CATALDO; D. BOLTOVSKOY. The effects of the invasive mussel, *Limnoperna fortunei*, on associated fauna in South American freshwaters: importance of physical structure and food supply. **Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie** 173, p. 135–144, 2008. http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=1863-9135&volume=173&issue=2&spage=135.

SIMBERLOFF, D. Invasional meltdown 6 years later: important phenomenon, unfortunate metaphor, or both?. **Ecology Letters** v. 9, p. 912–919, 2006 http://doi.wiley.com/10.1111/j.1461-0248.2006.00939.x.

SIMBERLOFF, D., J.-L. MARTIN, P. GENOVESI, V. MARIS, D. A. WARDLE, J. ARONSON, F. COURCHAMP, B. GALIL, E. GARCÍA-BERTHOU, M. PASCAL, P. PYŠEK, R. SOUSA, E. TABACCHI; M. Vilà, Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. Trends in **Ecology & Evolution** v. 28, p. 58–66, 2013. http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169534712001747.

VAN LOOY, K., T. TORMOS ; Y. SOUCHON. Disentangling dam impacts in river networks. **Ecological Indicators** v.37, p. 10–20, 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.006.

VITOUSEK, P. M., HUMAN DOMINATION OF EARTH'S **Ecosystems. Science** v. 277, p. 494–499, 1997. http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.277.5325.494.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos/ICB-UFMG pelo apoio em atividades de campo e laboratório. Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/CAPES; Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais/FAPEMIG; P & D Aneel-Cemig GT-550 "Desenvolvimento de metodologia para avaliação da viabilidade de descomissionamento de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH)"; e P & D Aneel-Cemig GT-599 e GT-611. MC é bolsista de produtividade em pesquisa (CNPq 303380/2015-2), teve apoio de projetos de pesquisa (CNPq 446155/2014-4) e bolsista pesquisador mineiro (FAPEMIG PPM-104-18).