



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

MARIA JOSÉ PINHEIRO ANACLÉTO

**EFEITO DE UM EPISÓDIO DE CHUVA ATÍPICA SOBRE A COMUNIDADE DE  
MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UM BARRAMENTO  
HIDRELÉTRICO NO CERRADO**

CAMPINA GRANDE, PB  
AGOSTO DE 2015

MARIA JOSÉ PINHEIRO ANACLÉTO

**EFEITO DE UM EPISÓDIO DE CHUVA ATÍPICA SOBRE A COMUNIDADE DE  
MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UM BARRAMENTO  
HIDRELÉTRICO NO CERRADO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Área de concentração: Ecologia Aquática

Orientador: Prof. Dr. Marcos Callisto – UFMG

Co-orientadora: Profa. Dra. Joseline Molozzi - UEPB

CAMPINA GRANDE-PB

AGOSTO DE 2015

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A532e Anacléto, Maria José Pinheiro.

Efeito de um episódio de chuva atípica sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um barramento hidrelétrico no Cerrado [manuscrito] / Maria José Pinheiro Anacléto. - 2015.  
48 p. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2015.

"Orientação: Prof. Dr. Marcos Callisto, Departamento de Biologia".

"Co-Orientação: Profa. Dra. Joseline Molozzi, Departamento de Biologia".

1. Macroinvertebrados aquáticos. 2. Chuva atípica. 3. Qualidade ambiental. 4. Bioindicadores. I. Título.

21. ed. CDD 577.6

MARIA JOSÉ PINHEIRO ANACLÉTO

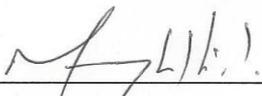
**EFEITO DE UM EPISÓDIO DE SECA ATÍPICA SOBRE A COMUNIDADE DE  
MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UM BARRAMENTO  
HIDRELÉTRICO NO CERRADO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós Graduação em Ecologia e  
Conservação da Universidade Estadual da  
Paraíba, como requisito parcial à obtenção  
do título de Mestre em Ecologia.

Área de concentração: Ecologia Aquática

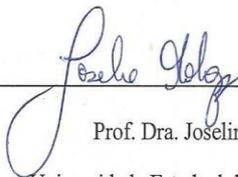
Aprovada em: 31/ 01/ 2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcos Callisto

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)



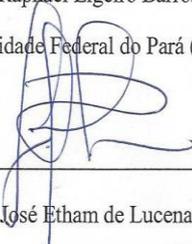
Prof. Dra. Joseline Molozzi

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Raphael Ligeiro Barroso Santos

Universidade Federal do Pará (UFPA)



Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG ...  
.....24
- Figura 2.** Volume útil do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 e 2014.....25
- Figura 3.** Ilustração do cálculo do Índice de Distúrbio Integrado (IDI), calculado como a distância Euclidiana (X) entre a posição do sítio amostral (exemplo “A”) em relação à origem do plano de perturbação (valor zero de IDB e IDL) .....29
- Figura 4.** Análise NMDS (Multi Dimensional Scaling) com dados limnológicos no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 e 201432
- Figura 5.** Cálculo dos valores do Índice de Distúrbio Integrado nos sítios amostrais no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 (A) e 2014 (B) .....34
- Figura 6.** Cálculo dos valores do Índice de distúrbio no *Buffer* (IDB) nos sítios no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 (A) e 2014 (B).....34
- Figura 7.** Cálculo dos valores do Índice de distúrbio local (IDL) nos sítios amostrais no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 (A) e 2014 (B) .....34

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Métricas utilizadas para calcular o IDL (Índice de Distúrbio Local), calculado com base em Ligeiro et al. (2013).....28
- Tabela 2.** Parâmetros limnológicos e de sedimento mensurados nas coletas realizadas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 e 2014. Média e desvio padrão, resultados do Teste *t* pareado (\*  $p \leq 0,05$ ) .....33
- Tabela 3.** Regressão entre as métricas biológicas e os índices de distúrbios (IDB e IDL) no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 e 2014. (\*  $p \leq 0,05$ ).....35

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de tantas experiências que propiciaram tamanho crescimento pessoal e intelectual. A Ele sou grata por esse presente!

Gostaria de agradecer à CEMIG – Programa P&D ANEEL/CEMIG GT- 487 pelo financiamento do projeto: Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica: macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos da CEMIG em Minas Gerais, a CAPES (PROCAD-NF), ao CNPq e à FAPEMIG pelos apoios financeiros e pela bolsa de mestrado!

Ao Prof. José Etham e ao Prof. Raphael Ligeiro por terem aceitado participar de minha banca avaliadora.

Ao Prof. Marcos Callisto pela orientação, pela acolhida em seu laboratório, pela ótima recepção em Belo Horizonte, pelo apoio em todo desenvolvimento do meu mestrado, sempre esteve disposto a me ensinar o caminho certo, gostaria de agradecer por tudo, meu muito obrigada!

À Prof.<sup>a</sup> Joseline Molozzi pela co-orientação, pelo carinho, pelo ensinamento desde a época da graduação, pelo auxílio em todas as etapas da minha dissertação. Meu muito obrigada!

Ao meu casal preferido Raquel e Álvaro por me acolherem em seu apartamento, pelo apoio, pela amizade, por compartilhar momentos difíceis e alegres. Vocês foram fundamentais em minha estadia em Belo Horizonte!

À Letícia de Moraes pela amizade, pela ajuda quando sempre precisei, pelo carinho. Obrigada pelos ensinamentos nas análises estatísticas e pela paciência!

À Bárbara Sanches pela disponibilidade em me ajudar sempre com muito carinho, pelos ensinamentos nas análises estatísticas. Meu muito obrigada por tudo!

À Isabela Martins pelo apoio em fornecer os dados que precisei usar em minha dissertação, pelas dúvidas tiradas na identificação dos Chironomidae, sempre esteve disposta a me ajudar.

À Juliana França, Kele Rocha e Katiene Santiago pela disposição em me ajudar nas coletas de campo, pelas trocas de experiências. Obrigada, por fazer uma semana de coleta ser bastante produtiva e divertida (lembrando as músicas que cantávamos durante as coletas)!

A todos os meus amigos do Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG, por todo apoio, por terem me acolhido tão bem no laboratório, sempre dispostos a ajudar seja no trabalho em campo, no processamentos das amostras, na discussão e melhoria da minha dissertação. Pelas saídas em Belo Horizonte, muitas risadas e companheirismo. A todos deixo meus sinceros agradecimentos e meu carinho!

Agradeço ao Cacazinho, pela paciência nas prestações de contas (notas fiscais) de todo meu projeto e por fazer meu dia a dia se tornar mais divertido com suas piadas!

Ao Wander Ferreira e Raphael Ligeiro, pelas discussões das análises estatísticas como também nas correções e andamento da minha dissertação!

Aos amigos do Laboratório de Ecologia de Bentos da UEPB, em especial (Evaldo, Daniele, Carlinda e Izabelly) pelo carinho e amizade, por estarem sempre dispostos a ajudar, deixo aqui meus sinceros agradecimentos!

As meninas do PIBIC – Júnior, Ingrid Silva Costa, Júlia Cheik Andrade, pela dedicação na triagem das minhas amostras como também nas análises granulométricas!

A todos os meus amigos de Belo Horizonte (da Pensão da Lu), que tornaram meus dias melhores e amenizaram a saudade de casa. Meu agradecimento especial vai para Gilderlanio (Gil) por estar sempre à disposição em me ajudar no inglês e pelos conselhos acadêmicos!

Aos meus pais (Francisco Antônio Anacleto e Maria Nazaré Pinheiro Anacleto), e irmãos (Hilton, Cristiane, Lúcia e Eudes) por terem me apoiado na decisão de ir morar fora para realização do mestrado. A todos eles sou grata tenho certeza se não fosse o apoio deles nada seria possível!

Deixo meus sinceros agradecimentos a todos por contribuírem nesse meu sonho. Muito obrigada por tudo!

## **RESUMO**

O presente trabalho avaliou a distribuição temporal da comunidade de macroinvertebrados relacionando um ano de pluviosidade normal (2010) e um ano de pluviosidade atípica (2014), com o intuito de investigar as alterações na composição e estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos em um reservatório de empreendimento hidrelétrico em um cenário de chuva atípica. O estudo foi realizado na mesma área amostral e nos mesmos sítios amostrais nos anos 2010 e 2014, do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, localizada na região do Triângulo Mineiro, no município de Nova Ponte, Bacia do Rio Araguari. Usando os macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores na avaliação ambiental. Os resultados apresentaram uma baixa abundância e diversidade de organismos relacionado em um ano de chuva atípica. As áreas do entorno do reservatório apresentaram alterações de acordo com o uso e ocupação do solo. No entanto, as atividades humanas vem alterando fortemente os recursos hídricos, interferindo as comunidades que lá habitam.

Palavras-chave: Macroinvertebrados bentônicos, reservatório, bioindicadores, escassez hídrica.

## **ABSTRACT**

This study evaluated the temporal distribution of macroinvertebrate community relating one year of normal rainfall (2010) and one year of atypical rainfall (2014), in order to investigate the changes in the composition and structure of benthic macroinvertebrate communities in a hydropower project reservoir in a rain atypical scenario. The study was conducted in the same sampling area and sampling sites in the years 2010 and 2014, at the reservoir of Nova Ponte Hydroelectric Plant, located in the Triangulo Mineiro region, in Nova Ponte, River Basin Araguari, by using benthic macroinvertebrates as bioindicators in the environmental assessment. The results showed a low abundance and diversity of related organisms in 2014 year of atypical rain. The areas around the reservoir showed changes according to the use and occupation of land. However, human activities have tightly changing the water resources, interfering with the communities that live there.

**Keywords:** Benthic macroinvertebrate, reservoirs, bioindicators, water scarcity.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	11
OBJETIVO GERAL .....	14
HIPÓTESE E PREDIÇÕES .....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
MANUSCRITO: Efeito de um episódio de chuva atípica sobre a comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos em um Barramento Hidrelétrico no Cerrado.....	17
1. INTRODUÇÃO .....	20
2. MATERIAS E MÉTODOS.....	24
2.1. Área de Estudo .....	24
2.2. Definição dos sítios amostrais e períodos de amostragens.....	25
2.3. Usos e ocupação do solo .....	25
2.4. Caracterização de habitats físicos .....	26
2.5. Avaliação de parâmetros limnológicos na coluna d'água e sedimento .....	26
2.6. Distúrbio Humano .....	27
2.7. Amostragens de macroinvertebrados bentônicos .....	29
2.8. Análise de dados .....	30
2.8.1. Avaliação de Autocorrelação Espacial.....	30
2.8.2. Métricas Biológicas .....	30
2.8.3. Influência de perturbações antrópicas sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos.....	30
2.8.4. Variáveis limnológicas .....	31
3. RESULTADOS .....	32
3.1. Usos e ocupação do solo .....	32
3.2. Características limnológicas na água e sedimento .....	32
3.3. Gradiente de distúrbio humano. ....	33
3.4. Influência do gradiente de distúrbio humano sobre a comunidade bentônica.....	35
3.5. Macroinvertebrados bentônicos.....	35
4. DISCUSSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
ANEXOS.....	48

## INTRODUÇÃO GERAL

Reservatórios são ambientes artificiais intermediários entre os ecossistemas lóticos e lênticos (Terra & Araújo, 2011), o que reestrutura as comunidades biológicas dos rios represados em função das novas peculiaridades de vazão de água (Agostinho et al., 2007). A fragmentação dos ecossistemas lóticos acarreta impactos negativos nas comunidades aquáticas, em múltiplas escalas espaciais e temporais (Santos et al., 2013). Os reservatórios são construídos com diversos fins, como para geração de hidroeletricidade, recreação, navegação, irrigação e pescas. Apesar dos benefícios gerados, a construção de reservatórios causa impactos negativos, tais como a perda da biodiversidade aquática, o declínio da qualidade da água e mudanças sociais e econômicas induzidas por sua construção (Rocha et al., 2012).

Os eventos hidrológicos extremos podem levar a mudanças na composição de espécies, ocorrendo a diminuição na densidade e riqueza de organismos (Rocha et al., 2012). A manutenção da qualidade ambiental é essencial para o bem estar do homem, o desenvolvimento socioeconômico, bem como para a preservação e a diversidade dos ecossistemas. O monitoramento de ecossistemas aquáticos é uma importante ferramenta para a gestão ambiental, pois fornece informações que contribuem para diagnosticar a qualidade ambiental, possibilitando identificar os principais impactos responsáveis pela degradação dos recursos hídricos.

Estudos sobre diversidade de habitats (formados pelos componentes físicos, químicos e biológicos) oferecem oportunidade de avaliar os níveis de impactos antropogênicos em trechos de bacias hidrográficas, constituindo-se em importante ferramenta em programas de monitoramento ambiental (Karret et al., 1986). Nesse contexto, o estudo da qualidade do habitat físico é essencial em pesquisas ecológicas, uma vez que a fauna aquática apresenta frequentemente exigências específicas de habitats (Barbour et al., 1999). Há evidências de que tanto a qualidade como a quantidade de habitats disponíveis afetam a estrutura e composição das comunidades biológicas residentes. O substrato é um componente multifatorial, pois a textura, o

grau de compactação, o tamanho da partícula e a área de superfície podem atuar na regulação da composição e abundância das espécies (Rodrigues et al., 2010).

A composição da fauna bentônica pode ser um bom indicador de alterações ambientais (Tundisi et al., 2008). O uso desses organismos os tornaram úteis em programas de biomonitoramento, pois (i) são animais que possuem pouca mobilidade e, portanto, refletem mais especificamente as modificações no ambiente através de mudanças na estrutura das populações e comunidades, e (ii) possuem ciclo de vida relativamente longo, podendo indicar efeitos cumulativos no ecossistema pois a maioria das espécies vivem na interface água-sedimento, onde a maioria dos poluentes tende a se acumular (Rosenberg et al., 1999).

Entre os insetos aquáticos, a família Chironomidae (Díptera) é a mais abundante e diversificada do grupo de insetos encontrados nos ecossistemas de água doce (Rosinet al., 2010). Chironomidae tem uma gama de espécies sensíveis, com grupos de espécies com tolerâncias a gradientes ambientais (Flosset al., 2012). Os estudos ecológicos sobre esses insetos focam sobre o uso das larvas como bioindicadores (Flosset al., 2012).

Nos últimos anos, alterações no regime de chuva levaram as regiões mais populosas do Brasil, sobretudo o Sudeste, a conviver com o drama da crise hídrica (IGAM, 2015). A crise hídrica expôs o problema da falta de gestão e planejamento envolvendo o mau uso da água aliada à deficiência da fiscalização. Dados da Agência Nacional de Águas (ANA), indicam que 55% dos municípios brasileiros podem sofrer déficit de abastecimento até 2015. Uma das maneiras de amenizar essa falta de água é o uso mais sustentável dela, outro modo de contribuir para este déficit é aumentar a eficiência na sua utilização, evitando-se desperdícios.

Com o crescimento da crise hídrica nos três maiores estados da região sudeste (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro) a população experimentou situações inéditas de escassez. O estado de Minas Gerais, conhecido como a caixa-d'água do Brasil pela vastidão de seus

recursos hídricos, enfrenta sua pior seca em mais de 100 anos (IGAM, 2015). A seca prolongada afeta os principais reservatórios da região, dentre estes, o reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte (UHE de Nova Ponte) encontra-se apenas com o volume útil total de 26,83 % (ONS, 2015).

De acordo com as principais conclusões do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), o aquecimento global dos últimos cinquenta anos é causado pelas atividades humanas, apontado como um dos motivos para a seca tão severa que se abateu sobre o Sudeste brasileiro em 2013 e 2014. O documento reafirma que a atividade humana é um fator dominante de influência no sistema climático, e que nos últimos 35 anos a temperatura no planeta vem aumentando.

Assim, considerando a importância de se avaliar como a comunidade bentônica responde em um período de estresse hídrico, este estudo teve como objetivo avaliar se a composição e estrutura de macroinvertebrados bentônicos em reservatórios alteram-se em um cenário de ano atípico de chuva.

Esta dissertação está inserida em um amplo projeto de pesquisas P&D ANEEL/CEMIG GT-487 intitulado “Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica: macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos da CEMIG em Minas Gerais” financiado pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

## **OBJETIVO GERAL**

Avaliar se a composição e estrutura de macroinvertebrados bentônicos em reservatórios alteram-se em um cenário de ano atípico de chuva.

## **HIPÓTESE E PREDIÇÕES**

Um período de chuva atípica afeta as comunidades de macroinvertebrados aquáticos, devido a esses organismos serem sensíveis a alterações ambientais. Espera-se que haja uma maior abundância de espécies exóticas, devido ao fato de que esses organismos conseguem adaptar-se rapidamente a alterações ambientais decorrentes de um período de chuva atípica. Com a diminuição do volume de água no reservatório espera-se que haja diminuição da diversidade de macroinvertebrados e consequente aumento da riqueza e abundância de gêneros de Chironomidae, organismos tipicamente tolerantes a alterações ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Pelicice, F. M., 2007. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá, EDUEM, 501p.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., Stribling, J. B., 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, ed. 2, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Floss, E. C. S., Kotzian, C. B., Spies, M. R., Secretti, E., 2012. Diversity of non-biting midge larvae assemblages in the Jacuí River basin, Brazil. *Journal of Insect Science*, 12:121.
- 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 Special Publication, Champaign, Illinois, USA, n 5.
- Mandaville, S. M., 2002. Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. (Project H-1) Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, 128p.
- Rocha, L. G., Medeiros, E. S. F., Andrade, H. T. A., 2012. Influence of flow variability on macroinvertebrate assemblages in an intermittent stream of semi-arid Brazil. *Journal of Arid Environments*, (85) 33-40.
- Rodrigues, A. S. L., Malafaia, G., Castro, P. T. A., 2010. A importância da avaliação do habitat no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos: uma revisão. *SaBios: Revista Saúde e Biologia*, 1 (5) 26-42.
- Rosenberg, D. M., Reynoldson, T. B., Resh, V. H., 1999. Establishing reference conditions for benthic invertebrate monitoring in the Fraser River catchment, British Columbia, Canada. Environmental Conservation Branch, 700-1200.
- Rosin, G. C., Mangarotti, D. P. O., Takeda, A. M., 2010. Chironomidae (Diptera) community structure in two subsystems with different states of conservation in a floodplain of southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 3(22) 276-286.

Santos, A. B. I., Albieri, R. J., Araújo, F. G., 2013. Seasonal response of fish assemblages to habitat fragmentation caused by an impoundment in a Neotropical river. *Environmental Biology of Fishes*, (96) 1-13.

Terra, B. F., Araújo, F. G., 2011. A preliminary fish assemblage index for a transitional river-reservoir system in southeastern Brazil. *Ecological Indicators*, (11) 874- 881.

Tundisi, J. G., Matsumura-Tundisi, T., Tundisi, J. E. M., 2008. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. *Brazilian Journal of Biology*, (68): 1133-1135.

**EFEITO DE UM EPISÓDIO DE CHUVA ATÍPICA SOBRE A COMUNIDADE DE  
MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UM BARRAMENTO  
HIDRELÉTRICO NO CERRADO**

ANACLETO, M. J. P.<sup>1,2</sup>, MOLOZZI, J.<sup>1</sup> & CALLISTO, M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral, Laboratório de Ecologia de Bentos, CEP 31270-901, Belo Horizonte-MG, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas. Departamento de Biologia, Laboratório de Ecologia de Bentos, CEP 58429-500, Campina Grande-PB, Brasil.

**RESUMO**

A ocorrência de episódios de chuvas atípicas vem crescendo no Brasil nos últimos anos, com consequências imprevisíveis para a biota aquática. Este estudo teve o objetivo de responder à pergunta sobre como a composição e estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos em um reservatório de empreendimento hidrelétrico altera-se em um cenário de chuva atípica. Para tanto, foi testada a hipótese de que em um período de chuva atípica as comunidades bentônicas são afetadas negativamente devido ao fato de que esses organismos são sensíveis a alterações ambientais. Assim, esperava-se encontrar maior abundância de indivíduos de espécies exóticas, pois esses organismos conseguem adaptar-se rapidamente a alterações ambientais. O estudo foi realizado no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, Bacia do rio Araguari (MG), comparando-se dois períodos amostrais (2010 um ano com pluviosidade média comum e 2014, um ano de pluviosidade baixa). Foram definidos 40 sítios amostrais na região litorânea do reservatório e foram avaliados os usos da terra, a estrutura física de habitat, características limnológicas na coluna d'água e sedimento, e coletadas amostras de sedimento para avaliar as comunidades de macroinvertebrados bentônicos. Para avaliar a influência de alterações humanas sobre as comunidades bentônicas foram calculados os índices de Distúrbio Integrado (IDI), Distúrbio no *Buffer* (IDB) e de Distúrbio Local (IDL). Para mensurar alterações nas comunidades bentônicas foram calculadas métricas biológicas (riqueza, % riqueza, abundância e % abundância), para os dados de: (a) *taxa* bentônicos, (b) Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), (c) *taxa* tolerantes, (d) *taxa* resistentes, (e) espécies exóticas, (f) gêneros de Chironomidae. Foi utilizada uma regressão linear múltipla para avaliar a relação entre as métricas biológicas e os índices de distúrbio. A métrica abundância de espécies exóticas foi a única que obteve relação com o IDL nos dois períodos de amostragens. Foram encontradas

relações significativas entre a composição e estrutura da comunidade bentônica e os dois períodos amostrais. Observamos que houve diferenças significativas tanto para a abundância (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,77} = 4,728$  e  $p = 0,001$ ) como na riqueza (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,76} = 6,748$  e  $g = 0,001$ ). Também foram observadas diferenças nos dados limnológicos entre os dois períodos amostrais (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,78} = 24,00$  e  $p = 0,001$ ). Os resultados evidenciam que a comunidade de macroinvertebrados foi alterada negativamente no ano de chuva atípica. Portanto, a má gestão político-ambiental de recursos hídricos, somados a episódios climáticos extremos, comprometem a biota aquática em empreendimentos hidrelétricos no bioma cerrado.

**Palavras-chave:** chuva atípica, macroinvertebrados aquáticos, reservatório, qualidade ambiental, bioindicadores.

### ABSTRACT

Episodes of atypical rain is growing in Brazil in recent years, with unpredictable consequences for freshwater biota. This study aimed to investigate the composition and structure of benthic macro invertebrates in a hydropower reservoir, under the atypical rain scenario. Therefore, we tested the hypothesis that macroinvertebrate communities are negatively affected due to the fact that these organisms are sensitive to environmental changes. Thus, we expected to find greater abundance of exotic species, because these organisms can adapt quickly to environment. The study was conducted at Hydropower Plant Reservoir Nova Ponte, Araguari River Basin (MG) comparing two sampling periods (2010, a year with common average rainfall and 2014, a year of low rainfall). We sampled 40 sites in the littoral zone of the reservoir and evaluated the land use, physical structure habitat, limnological characteristics in the water column and sediment, and also sediment samples were collected to assess the benthic macroinvertebrate communities. To evaluate the influence of human change over benthic communities Integrated Disturbance Index (IDI) were calculated, Buffer Disturbance Index (BDI) and a Local Disturbance Index (LDI). To measure changes in benthic communities biological metrics were calculated (richness, % richness, abundance and % abundance) to (a) benthic taxa, (b) Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT), (c) tolerant taxa, (d) resistant taxa, (e) non-native species, and (f) chironomid genera. Multiple linear regressions were performed to assess the relationship between biological metrics and LDI. The abundance metric of non-native species was the single one that reached relationship with the LDI, in the two sampling periods. Significant relationships between the composition and structure of the benthic community and the two sampling periods were found.

We observed significant differences for both abundance (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,77} = 4.728$  and  $p = 0.001$ ) and the richness (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,76} = 6.748$  and  $p = 0.001$ ). Also, differences were observed in limnological data between the two sampling periods (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,78} = 24.00$ ,  $p = 0.001$ ). The results show macroinvertebrate community was changed negatively in atypical rainy year. In conclusion, inadequate policy and environmental management of freshwater resources, combined to extreme weather events, undertake to aquatic biota in hydroelectric projects in the neotropical savanna (cerrado).

**Keywords:** atypical rain, macroinvertebrate, reservoirs, environmental quality, bioindicators.

## 1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos são submetidos a perturbações periódicas por eventos naturais como inundações e períodos de seca (Rapport & Whitford, 1999); ou de origem antrópica, incluindo fragmentação de habitats e introdução de espécies exóticas (Dudgeon et al., 2006; Carpenter et al., 2011). A humanidade tem transformado as paisagens naturais, substituindo a cobertura vegetal nativa por outros usos do solo relacionados a atividades de agricultura, pastoreio e crescimento desordenado, gerando perdas de qualidade ambiental e biodiversidade nos ecossistemas (Carpenter et al., 2011; Resh et al., 2013).

A construção de reservatórios hidrelétricos é um assunto polêmico que envolve aspectos positivos e negativos. De um lado, a maior geração de energia elétrica impulsiona o progresso da sociedade, abastecimento de água potável para consumo, dessedentação de animais, irrigação, controle de enchentes, navegação, pesca, turismo e recreação (Tundisi, 2008). Por outro, o barramento de rios resulta na fragmentação de habitats, introdução de espécies exóticas, diminuição da biodiversidade aquática, perda de qualidade de água e redução de qualidade ambiental (Callisto et al., 2014; Giehl et al., 2014).

Em países na América do Norte e Europa a qualidade ambiental de bacias hidrográficas é avaliada utilizando Índices de Integridade Biótica (IBI) (Rossaro et al., 2011; Kauffman et al., 2014a; b). Esses índices consideram um grande número de métricas biológicas (p.ex. riqueza e abundância de espécies nativas e exóticas), que são então analisados conjuntamente aos usos do solo, integridade de zonas ripárias, habitats físicos, e parâmetros físicos e químicos na água, avaliando a manutenção de comunidades biológicas em gradientes de condições ambientais em múltiplas escalas espaciais (Kauffman et al., 2014a; b).

A avaliação da qualidade ambiental em bacias hidrográficas de reservatórios hidrelétricos tem sido realizada utilizando a abordagem de bioindicadores de qualidade de água (Morais et al.,

2014; Martins et al., 2015). Os bioindicadores são grupos de organismos cuja presença, quantidade e distribuição indicam a qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos e de suas bacias hidrográficas, auxiliando na avaliação de impactos ambientais (Molozzi et al., 2013). Em bacias de barramentos hidrelétricos, regiões minimamente alteradas por atividades humanas podem ser consideradas como áreas de referência na perspectiva do conceito de Máximo Potencial Ecológico (Molozzi et al., 2013).

Comunidades de macroinvertebrados bentônicos são componentes importantes em reservatórios, participando de processos ecológicos como ciclagem de nutrientes e fluxo de energia (Angrandi & Jicha, 2010). Os macroinvertebrados são comumente utilizados como bioindicadores em ecossistemas lacustres devido a suas características ecológicas, incluindo: são relativamente sésseis; algumas famílias vivem em ambientes com amplas variações de temperatura, pH, oxigênio dissolvido, disponibilidade e qualidade de alimento; ocupam regiões mais profundas do sedimento, compartimento que reflete todo o metabolismo do ecossistema e alterações no seu entorno; participam dos processos ecológicos de fluxo de energia e decomposição de matéria orgânica (Esteves et al., 2011).

Dentre os grupos taxonômicos que compõem as comunidades de macroinvertebrados bentônicos, as larvas de Chironomidae (Diptera, Insecta) têm especial interesse ecológico porque ocorrem em uma ampla variedade de habitats (Rosin et al., 2010) e estão adaptadas a viver em diferentes condições ecológicas. As espécies dessa família apresentam amplo espectro de tolerância a variáveis físicas e químicas do habitat e participam de teias alimentares, consumindo ampla variedade de tipos de matéria orgânica, como algas, macrófitas e detritos; são alimento para predadores, como peixes de pequeno porte, outros invertebrados e aves (Rosin & Takeda, 2007). Larvas de Chironomidae são encontradas em elevadas abundâncias no sedimento e associadas a vegetação aquática na região litorânea de ecossistemas lacustres.

Existem poucos estudos ecológicos que avaliam a qualidade ambiental de reservatórios de empreendimentos hidrelétricos ao longo do tempo (Dadial et al., 2009). No entanto, os padrões ecológicos são temporalmente variáveis e, com isso, é necessária a realização de uma reamostragem após alguns anos para comparar padrões de distribuição (Resh et al., 2013). Eventuais mudanças em comunidades aquáticas podem ocorrer devido a alterações climáticas relacionadas a episódios de secas atípicas (Lake, 2000; Lake 2003). A escassez de recursos hídricos é um dos temas mais discutidos dentre as questões ambientais neste século, e alterações na precipitação são responsáveis por aumentar a incidência de períodos de seca (Ledger et al., 2012; Ledger et al., 2013).

No sudeste do Brasil tem sido observado com ocorrência de chuvas atípicas (IGAM, 2015). Nos últimos 36 anos observa-se diminuição da precipitação ao longo dos anos e, na última década, as chuvas foram abaixo da Normal Climatológica (IGAM, 2014). O período chuvoso de 2010/2011 apresentou valores acima da normal climatológica, sendo que 2013 e 2014 foram classificados como anos muito secos de acordo com o relatório de Estudos de Avaliação da Precipitação em Bacias do Estado de Minas Gerais-IGAM (2014). No estado de Minas Gerais, o nível de água no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte (UHE de Nova Ponte) em abril de 2010 era de 83,16% do seu volume total. Em abril de 2014 seu volume chegou a 25,25% e, em fevereiro de 2015, alcançou 11,51% (ONS, 2015).

Neste contexto ambiental, a pergunta que norteia esta dissertação é: Como a composição e estrutura de macroinvertebrados bentônicos em um reservatório de empreendimento hidrelétrico altera-se em um cenário de chuva atípica? A hipótese testada foi de que um período de chuva atípica afetaria as comunidades de macroinvertebrados aquáticos, devido a esses organismos serem sensíveis a alterações ambientais. Esperava-se que houvesse maior abundância de organismos de espécies exóticas, devido ao fato de que esses organismos conseguem adaptar-se rapidamente a alterações ambientais decorrentes de um período de chuva atípica. Com a

diminuição no volume de água do reservatório esperava-se diminuição da diversidade de macroinvertebrados e consequente aumento da riqueza e abundância de larvas de Chironomidae, organismos tipicamente tolerantes a alterações ambientais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

O reservatório da UHE de Nova Ponte, localizado no trecho médio da bacia do rio Araguari no cerrado do Minas Gerais, foi construído em 1987 e iniciou sua operação em 1994 (Figura 1). O clima na região é do tipo tropical, com temperaturas entre 14°C e 30°C e precipitação média anual de cerca de 1700 mm/ano (Durães et al., 2001). O reservatório de Nova Ponte é o maior na sequência de reservatórios em cascata no rio Araguari, com uma área de superfície de 443 km<sup>2</sup> e volume de 12,8 bilhões de m<sup>3</sup> de água (CEMIG, 2015). Os rios Araguari e Quebra-Anzol são seus principais afluentes. Sua usina hidrelétrica possui 3 unidades geradoras com capacidade de 510 Mw de potência, sua barragem possui altura máxima de 142 metros, e comprimento de 1600 metros.

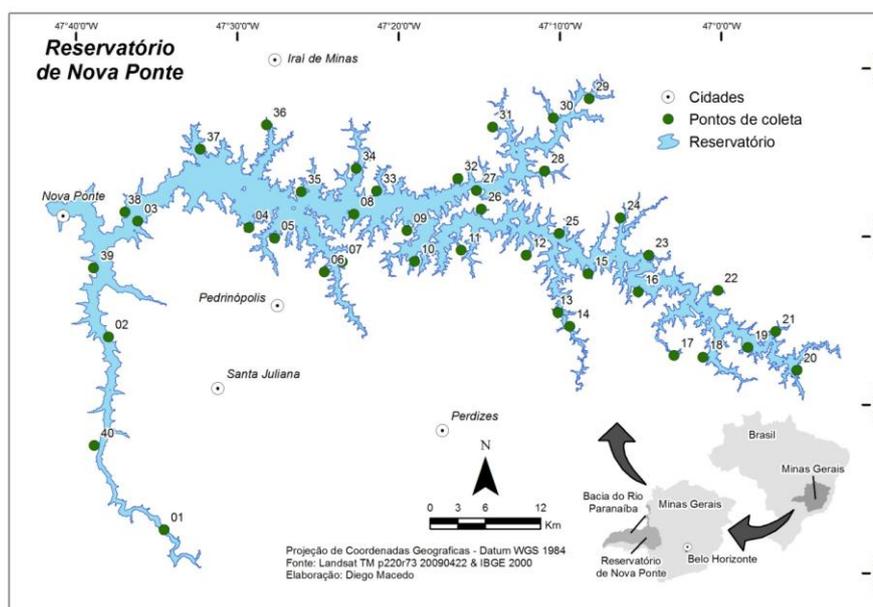


Figura 1. Reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG.

Os maiores volumes de enchimento do reservatório de Nova Ponte foram obtidos no ano de 2010 chegando a 83,32% no mês de abril, enquanto que em 2014 foram observados valores muito menores chegando a 11,03% no mês de novembro (Figura 2). As coletas foram realizadas

no final do período de chuvas (abril), nesse período o reservatório encontra-se com seu volume bastante alto, oferecendo maior amplitude de habitats físicos para a biota aquática.

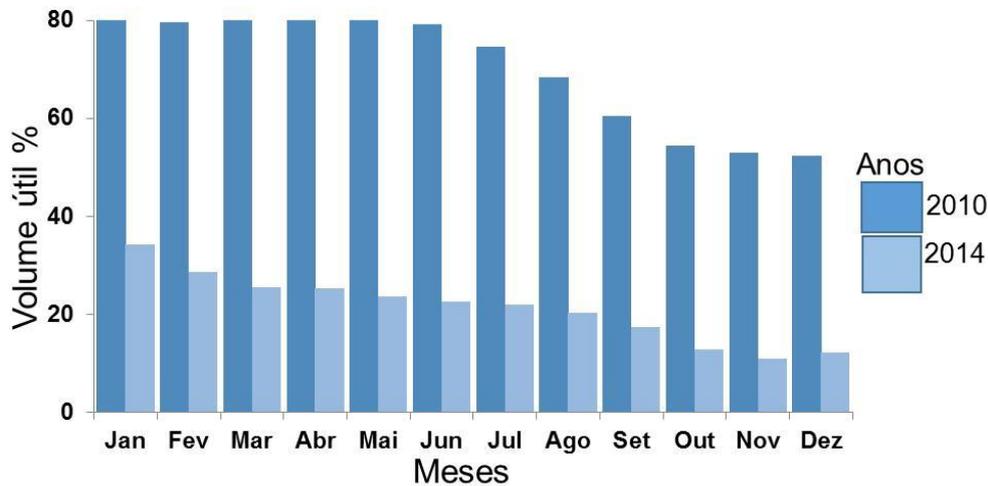


Figura 2. Volume útil do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 e 2014.

## 2.2. Definição dos sítios amostrais e períodos de amostragens

Os sítios amostrais foram definidos segundo um desenho amostral espacialmente balanceado (Stevens & Olsen, 2004) e adaptado para grandes reservatórios por Macedo et al. (2014). Quarenta sítios amostrais equidistantes foram definidos a partir de um ponto aleatório definido na região litorânea do reservatório. Em cada sítio amostral foram avaliados os habitats físicos, mensurados os parâmetros físicos e químicos na coluna d'água e sedimento e realizadas amostragens de comunidades de macroinvertebrados, no final da estação chuvosa (abril) nos anos de 2010 e 2014.

## 2.3. Usos e ocupação do solo

Os usos e ocupação do solo em cada sítio amostral foram avaliados determinando as características da paisagem a partir de áreas de influência de 500m (*buffer*) no entorno de cada sítio amostral. Os *buffers* foram avaliados através de imagens de satélite (sensor TM a bordo do

Landsat 5) capturadas no mesmo período das coletas (abril de 2010 e 2014). Através do software Kosmo 2.0 e utilizando imagens disponíveis no Google Earth 6.0 as imagens foram interpretadas, definindo-se padrões de cores para as atividades de uso do solo nas áreas observadas (p. ex. agricultura, mata, campo, pasto, construções).

#### **2.4. Caracterização de habitats físicos**

A caracterização da estrutura física do hábitat foi realizada com a aplicação do Protocolo de Caracterização de Habitats Físicos (USEPA, 2012, traduzido por Callisto et al., 2014). Em cada sítio amostral foram definidos 10 transectos equidistantes 15 metros um do outro. Em cada transecto foram avaliadas seções contínuas de zonas litorânea (15 x 10 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 e ripária (15 x 15 m) (Anexo I). Após a compilação dos dados de habitats físicos obtidos em campo, métricas de habitats foram calculadas de acordo com Kaufmann et al. (2014a; b).

#### **2.5. Avaliação de parâmetros limnológicos na coluna d'água e sedimento**

Os parâmetros limnológicos foram avaliados a partir de coletas de água na subsuperfície nos 40 sítios amostrais na região litorânea do reservatório. Utilizando um multi-analisador (modelo YSI<sup>®</sup> 6600) foram mensurados: temperatura da água (°C), pH, condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). As profundidades total e da zona eufótica foram mensuradas utilizando-se, respectivamente, profundímetro e disco de Secchi. A turbidez (UNT) foi medida através de turbidímetro Digimed<sup>®</sup>. Em laboratório foram analisados os teores de clorofila-a ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) pela metodologia de Golterman et al. (1978) e teores de oxigênio dissolvido ( $\text{mg}/\text{L}$ ) pelo método de Winkler (1888). A alcalinidade total ( $\text{mEq}/\text{L}$  de  $\text{CO}_2$ ) foi calculada com auxílio do software *ALCAGRAN* (Carmouze, 1994). Os teores de nitrogênio total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) foram avaliados segundo as metodologias de Golterman et al. (1978) e Mackereth et al. (1978), respectivamente.

A determinação dos teores de matéria orgânica no sedimento foi realizada pelo método de gravimetria, no qual alíquotas ( $0,3 \pm 0,1\text{g}$ ) foram calcinadas em forno mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  por quatro horas e então pesadas (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).

## 2.6. Distúrbio Humano

Para determinar o grau de distúrbio em cada sítio amostral foram utilizados três índices conforme Ligeiro et al. (2013) e Martins et al. (2015): Índice de Distúrbio no *Buffer* (IDB) que reflete os distúrbios na área do *buffer* (500m) e do Índice de Distúrbio Local (IDL) que reflete os distúrbios em escala local e o Índice de Distúrbio Integrado (IDI) que foi calculado a partir dos dois índices anteriores.

O IDB foi baseado no uso do solo no interior de cada *buffer* (500m), tendo sido atribuídos pesos diferentes a cada tipo de atividade de uso do solo segundo a fórmula:

$$\text{IDB} = 4 \times (\% \text{ áreas urbanas}) + 2 \times (\% \text{ áreas agrícolas} + \% \text{ áreas de solo descoberto}) + \% \text{ áreas de pastagem.}$$

Como IDL utilizou-se o índice SynRDis\_IX, que reúne métricas de distúrbios humanos observados nas zonas ripária e inundada do reservatório calculada de acordo com a fórmula  $(1 - (1/(1 + \text{IDL Pond} + (1 * \text{IDB})) + \text{IDL})/2)$  Kauffman et al. (2014a; b) (Tabela 1).

Tabela 1. Métricas utilizadas para calcular o IDL (Índice de Distúrbio Local), calculado com base em Kauffman et al., 2014a; b).

Métricas	Descrição	Mín	Méd	Máx
Pdraw	Distância levantamento horizontal devido pelo tamanho do campo plot (15 m).	1,0	1,9	6,1
rviWoody	Resumo da cobertura de vegetação lenhosa na cobertura do dossel, sub-bosque e solo.	0,1	0,4	0,8
rvfcCanBig	Média de cobertura a área proporcional de árvores de grande diâmetro ao longo das 10 parcelas.	0,0	0,3	0,8
rvfcGrdBare	Solo sem cobertura ou construções (média das 10 parcelas).	0,0	0,1	0,6
hifpAnyCirca	Proporção de parcelas com pelo menos um tipo de atividade humana.	0,0	0,2	1,0
hiiAg	Proporção de parcelas com atividades agrícolas.	0,0	0,1	1,9
hiiNonAg	Média de parcelas com influência humana.	0,0	0,2	3,2
hiiAll	Soma das proporções de parcelas com atividades agrícolas e não-agrícolas.	0,0	0,3	5,1
hiiAllCirca	Proporção entre as atividades agrícolas e não-agrícolas.	0,0	0,1	1,0

Por último, o IDI foi calculado com a distância Euclidiana entre a posição de cada ponto amostral em relação à origem (zero) em um plano de perturbação tendo como eixos o IDB e o IDL (Ligeiro et al., 2013; Martins et al., 2015). Em cada sítio amostral valores mais distantes da origem (zero) representam maiores desvios do estado em melhores condições ecológicas e, conseqüentemente, maiores intensidades de modificações humanas observadas no sítio amostral (Figura 3). Em outras palavras, sítios amostrais localizados próximos da origem do plano de perturbação representam regiões minimamente alteradas por atividades humanas, sendo estas consideradas como áreas de referência na perspectiva do conceito de Máximo Potencial Ecológico (Molozzi et al., 2013).

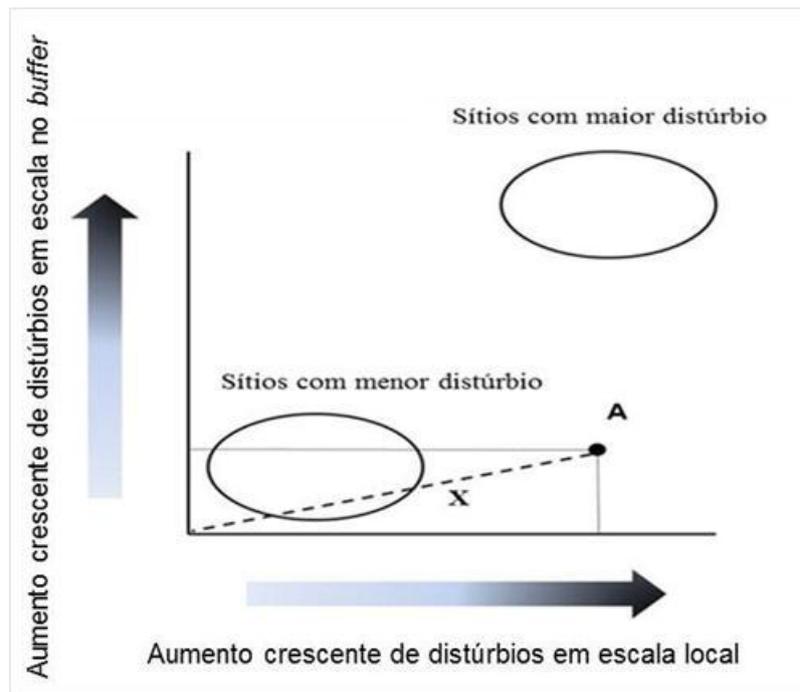


Figura 3. Ilustração do cálculo do Índice de Distúrbio Integrado (IDI), calculado como a distância Euclidiana (X) entre a posição do sítio amostral (exemplo “A”) em relação à origem do plano de perturbação (valor zero de IDB e IDL), adaptada de Ligeiro et al., 2013.

## 2.7. Amostragens de macroinvertebrados bentônicos

As amostragens da comunidade de macroinvertebrados foram realizadas em cada sítio amostral utilizando uma draga do tipo Eckman-Birge (área 0,0225 m<sup>2</sup>). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e fixadas com formol 4% e então transportadas para o Laboratório de Ecologia de Bentos na Universidade Federal de Minas Gerais. Em laboratório as amostras foram lavadas individualmente sobre duas peneiras com malhas de 1,0 a 0,5mm. Em seguida os animais foram triados e identificados utilizando microscópio estereoscópico com aumento de 40x. A identificação foi realizada ao nível de família com o auxílio de chaves taxonômicas específicas (Pérez, 1988; Merritt & Cummins, 1996; Carvalho & Calil, 2000; Epler, 2001; Fernández & Domínguez, 2001; Costa & Simonka, 2006; Mugnai et al., 2010). Os indivíduos da família Chironomidae (Diptera, Insecta) foram identificados ao nível de gênero, utilizando a chave taxonômica de Trivinho-Strixino (2011).

## **2.8. Análise de dados**

### **2.8.1. Avaliação de Autocorrelação Espacial**

Para avaliar a autocorrelação espacial entre os sítios amostrais foi realizado o teste de Mantel (Mantel, 1967), utilizando o software PAST (Hammer et al., 2003). Foi utilizada uma matriz de similaridade Bray-Curtis para os dados de abundância de macroinvertebrados e outra matriz com distância euclidiana para os dados de coordenadas geográficas.

### **2.8.2. Métricas Biológicas**

As métricas biológicas foram calculadas de acordo com Silveira (2004) e Ferreira et al. (2011). Foram calculadas as métricas biológicas (riqueza, % riqueza, abundância e % abundância), para os dados de: (a) *taxa* bentônicos, (b) EPT (Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Polymitarcyidae, Hydropsychidae), (c) *taxa* tolerantes (Staphylinidae, Chaoboridae, Ceratopogonidae, Naucoridae, Gomphidae, Libellulidae, Corixidae), (d) *taxa* resistentes (Oligochaeta, Bivalvia, Thiaridae), (e) espécies exóticas (*Corbicula fluminea*, *Curbiculidae*), (f) gêneros de Chironomidae (*Chironomus*, *Tanytarsus*, *Coelotanypus*, *Polypedilum*, *Fissimentum*, *Cladopelma*, *Paralauterborniella*, *Clinotanypus*, *Ablasbesmyia*, *Nilothauma*, *Cryptochironomus*, *Asheum*, *Saetheria*, *Aedokritus*, *Djalmabatista*, *Goeldichironomus*, *Pelomus*, *Dicrotendipes*, *Stenochironomus*, *Stempellinella*, *Metriocnemus* e *Tanypus*).

### **2.8.3. Influência de perturbações antrópicas sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos**

Para avaliar as respostas dos macroinvertebrados em relação à influência humana nas diferentes escalas espaciais foi realizada uma regressão linear múltipla entre as métricas biológicas supracitadas e os índices de distúrbios (IDI, IDB e IDL) para ambos os anos. Para

essas análises, os dados de riqueza e abundância foram transformados em  $\log(x+1)$  e os percentuais em arco seno da raiz quadrada (Zar, 1999).

Foi realizada uma análise *Permutational Multivariate Analysis of Variance* (PERMANOVA) para identificar se houve diferenças entre as composições das comunidades amostradas nos dois anos. Foi utilizada a matriz de dissimilaridade de *Bray Curtis* para os dados de abundância foram transformados em raiz quadrada.

#### **2.8.4. Variáveis limnológicas**

Com o intuito de analisar se os valores das variáveis limnológicas foram diferentes entre os dois anos de amostragens foi realizada uma análise *Permutational Multivariate Analysis of Variance* (PERMANOVA) utilizando uma matriz de dissimilaridade com Distância Euclidiana e os dados transformados em  $\log(x+1)$ . Posteriormente foi realizada uma análise de Correlação de Pearson retirando as variáveis redundantes e aquelas com maior coeficiente de correlação foram excluídas da análise (variáveis com  $r \geq 0,6$  ou  $r \leq -0,6$ ) (Hughes et al., 2009). Em seguida foi realizado um teste *t* pareado para verificar quais dessas variáveis foram diferentes entre os anos. As análises de Correlação de Pearson e teste *t* pareado foram realizadas no programa Statistica 6.0 (StatSoft, 2011).

Para demonstrar graficamente as diferenças entre os anos foi realizada uma ordenação *Multi Dimensional Scaling* (nMDS), utilizando o software PRIMER + PERMANOVA, 2006 (McArdelle & Anderson, 2001).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Usos e ocupação do solo

Os usos e tipos de ocupação do solo no entorno do reservatório hidrelétrico de Nova Ponte em 2014 foram representados por campos (34,0%), matas (33,6%), agricultura (22,2%), pasto (9,0%), solo descoberto (0,9%) e construções (0,3%). Em geral, em 2010 o cenário foi semelhante, tendo sido observados campos (34,1%), matas (33,6%), agricultura (21,7%), pasto (9,4%), solo descoberto (0,9%) e construções (0,3%).

#### 3.2. Características limnológicas na água e sedimento

Houve diferença significativa nos dados limnológicos entre os dois anos de coleta (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,78} = 24,00$  e  $p = 0,001$ ). A ordenação nMDS evidenciou essa diferença observada na PERMANOVA, com dois agrupamentos bem distintos (Figura 4).

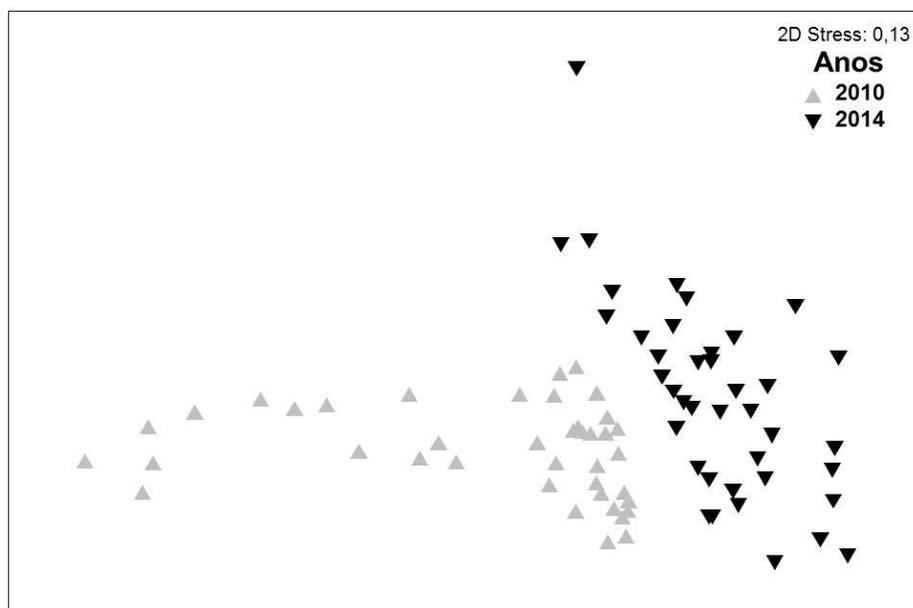


Figura 4: Análise nMDS (Multi Dimensional Scaling) com dados limnológicos no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 e 2014.

Através do teste  $t$  pareado foi possível identificar quais variáveis foram diferentes entre os anos (seixos, cascalhos, areias finas, silte + argila, matéria orgânica, profundidade, Secchi,

temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, clorofila-a e alcalinidade total) (Tabela 2). A avaliação da composição granulométrica dos sedimentos na região litorânea do reservatório evidenciou heterogeneidade de partículas maiores em 2010 (seixos, cascalhos e areias grossas), quando comparada à amostragem em 2014 (areias finas, siltes + argilas e areias média).

Tabela 2. Parâmetros limnológicos e de sedimento mensurados nas coletas realizadas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 e 2014. Média e desvio padrão, resultados do Teste *t* pareado (\*  $p \leq 0,05$ ).

Variáveis	2010	2014	T
% Seixos (64 - 250 mm)	40,97 ± 70,02	0,00 ± 0,00*	-861,70
% Cascalhos (2 - 63 mm)	24,37 ± 53,30	1,98 ± 5,47*	-1418,10
% Areias Grossas (0,50 - 1,0 mm)	4,70 ± 7,10	4,40 ± 5,41	-3711,10
% Areias Médias (0,250 - 0,49 mm)	18,47 ± 20,58	12,60 ± 16,94	-1257,40
% Areias Finas (0,1 - 0,249 mm)	27,21 ± 30,15	18,89 ± 10,15*	-1842,00
% Siltes + Argilas (< 0,062 mm)	14,61 ± 18,06	16,55 ± 14,68*	-1227,40
Matéria Orgânica (% P.S.)	9,21 ± 4,22	9,96 ± 3,74*	-4176,90
Profundidade (m)	4,21 ± 2,23	3,60 ± 3,83*	-4602,70
Secchi (m)	3,13 ± 1,45	1,50 ± 1,20*	-5431,50
Temperatura da Água (°C)	25,63 ± 0,42	28,15 ± 1,75*	-12055,10
pH	7,56 ± 0,19	7,94 ± 0,52*	-9607,90
Oxigênio Dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	7,74 ± 0,71	7,60 ± 0,88*	-8030,00
Turbidez (UNT)	2,53 ± 1,47	33,60 ± 49,85*	-480,20
Clorofila-a (µg L <sup>-1</sup> )	0,88 ± 0,41	1,37 ± 1,27*	-8998,90
Nitrogênio Total (µg L <sup>-1</sup> )	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,04	-1633,20
Alcalinidade Total (mEq L <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> )	55,50 ± 33,16	34,60 ± 83,74*	-220,40

### 3.3. Gradiente de distúrbio humano

Não foram observadas diferenças significativas nos valores calculados nos índices de distúrbios IDI, IDB, IDL nos sítios amostrais comparando os anos 2010 e 2014. Os valores do IDI não evidenciaram diferenças entre os anos de amostragem ( $t = 0.033$ ,  $df = 39$ ,  $p\text{-value} = 0.973$ , Figura 5). O resultado do cálculo do IDB não foi diferente entre os dois anos de

amostragem ( $t = -1$ ,  $df = 39$ ,  $p\text{-value} = 0.323$ , Figura 6), nem os valores de IDL ( $t = 0.182$ ,  $df = 39$ ,  $p\text{-value} = 0.856$ , Figura 7).

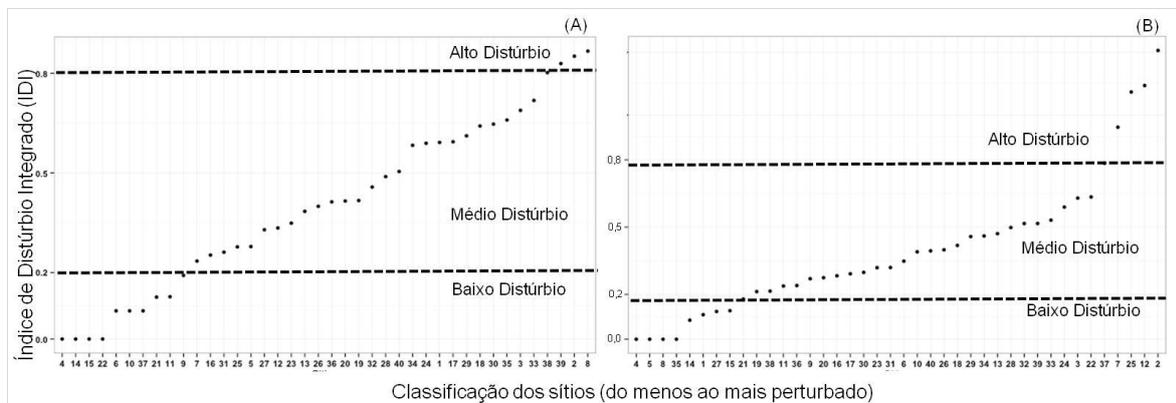


Figura 5: Cálculo dos valores do Índice de Distúrbio Integrado nos sítios amostrais no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 (A) e 2014 (B).

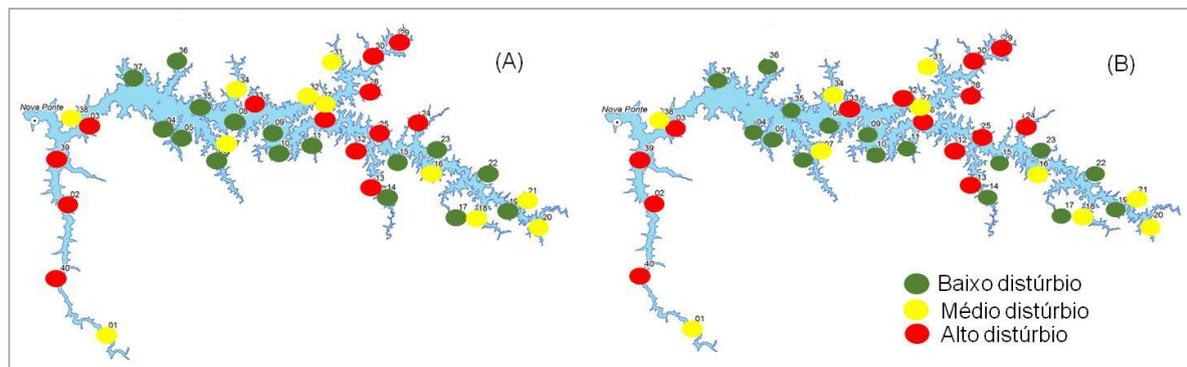


Figura 6: Cálculo dos valores do Índice de distúrbio no *Buffer* (IDB) nos sítios no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 (A) e 2014 (B).

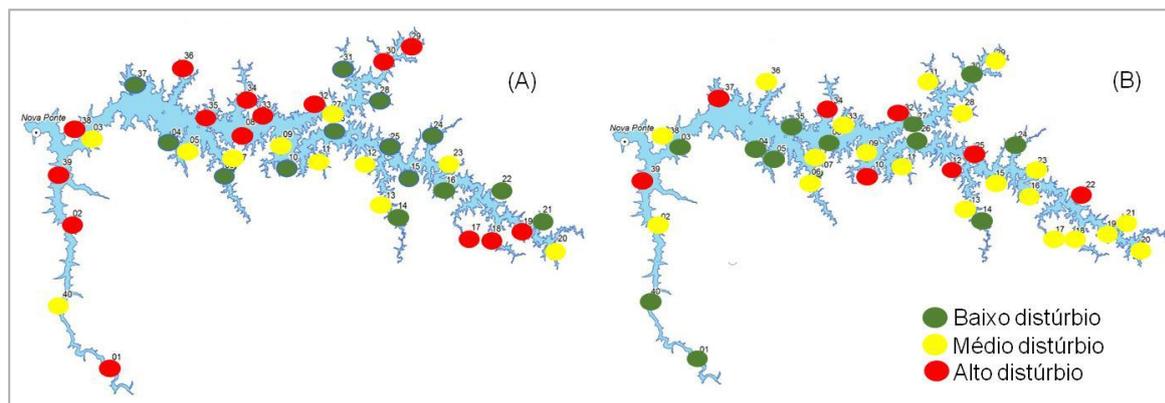


Figura 7: Cálculo dos valores do Índice de distúrbio local (IDL) nos sítios amostrais no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 (A) e 2014 (B).

### 3.4. Influência do gradiente de distúrbio humano sobre a comunidade bentônica

Em 2010 cinco métricas biológicas (abundância de espécies exóticas, percentual do número de indivíduos de espécies exóticas, riqueza de espécies exóticas, percentual de riqueza de espécies exóticas e riqueza de *taxa* resistentes) foram significativamente relacionadas com o IDL; enquanto que em 2014, apenas a métrica abundância de espécies exóticas foi significativamente relacionada com o IDL (Tabela 3).

Tabela 3: Regressão entre as métricas biológicas e os índices de distúrbios (IDB e IDL) no reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG, nos anos de 2010 e 2014. (\*  $p \leq 0,05$ ).

Métricas Biológicas	2010				2014			
	IDB		IDL		IDB		IDL	
	p-level	B	p-level	B	p-level	B	p-level	B
Abundância de espécies exóticas	0,614	0,035	0,005*	0,186	0,559	0,029	0,007*	0,106
% do número de indivíduos de espécies exóticas	0,567	2,510	0,027*	9,087	0,876	0,571	0,066	5,204
Riqueza de espécies exóticas	0,373	0,035	0,030*	0,079	0,926	0,002	0,139	0,026
% de riqueza de espécies exóticas	0,870	0,674	0,011*	10,014	0,979	0,083	0,127	3,818
Riqueza de <i>taxa</i> resistentes	0,465	-	0,017*	-0,076	0,209	0,040	0,321	0,024

### 3.5. Macroinvertebrados bentônicos

Os 956 indivíduos coletados em 2014 foram identificados em 14 famílias (46% Chaoboridae e 41% Chironomidae), representando 86,13% do número coletado em 2010. Os Chironomidae (390 indivíduos) foram identificados em 22 gêneros, com o predomínio de *Polypedilum* (Kieffer 1913) e *Tanytus* (Kieffer 1912) (21,85% cada).

Em 2010, 1.110 indivíduos haviam sido identificados, distribuídos em 18 famílias, sendo os grupos mais abundantes Chironomidae (46%) e Oligochaeta (42%). Os 462 Chironomidae

foram identificados em 21 gêneros, predominando *Tanytarsus* (Wulp 1984) com 46% e *Polypedilum* (Kieffer 1913) com 15%.

Diferenças significativas ocorreram tanto nos valores de abundância relativa dos gêneros de macroinvertebrados (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,77} = 4,728$  e  $p = 0,001$ ), quanto nos valores de riqueza (PERMANOVA, Pseudo- $F_{1,76} = 6,748$  e  $p = 0,001$ ) entre os anos de amostragens. Em 2010 foram registradas três espécies exóticas: *Corbicula fluminea* (Müller 1974), *Melanoides tuberculatus* (Müller 1974) e *Macrobrachium amazonicus* (Heller 1862); enquanto que em 2014 apenas *Corbicula fluminea* foi encontrada.

Não constatamos influência da distância entre os sítios amostrais sobre a abundância de espécies (2010:  $R = -0,001$ ,  $p = 0,57$ ; 2014:  $R = 0,066$ ,  $p = 0,21$ ). Assim, os sítios amostrais foram considerados como locais de amostragens independentes.

#### **4. DISCUSSÃO**

A seca no sudeste do Brasil no ano de 2014 foi considerada atípica (IGAM, 2014; ANA, 2015). A variabilidade no clima e a ocorrência de eventos extremos tem afetado seriamente a biodiversidade aquática (Lake, 2003). O relatório do IPCC (2013) já previa a redução das chuvas extremas e o aumento de secas na década de 2010/2020. Essas alterações climáticas aumentam o risco e a vulnerabilidade a incêndios e as condições secas geram impactos negativos sobre a biodiversidade e aos seres humanos (Climate Change, 2008). As secas são definidas como períodos de baixo índice de pluviosidade (Atkinson et al., 2014) e exercem alterações no funcionamento dos ecossistemas (MacKay et al., 2010), com consequências para sua biota.

Os reservatórios hidrelétricos têm sofrido impactos com a redução pluviométrica. O total de chuvas nos dois últimos períodos (2012/2013 e 2013/2014) foi abaixo da normalidade climatológica, sendo estes anos classificados como levemente a muito secos respectivamente (IGAM, 2014; ANA, 2015). O reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte vem reduzindo

seu volume de água, segundo dados disponíveis no web site do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), onde observa-se que em outubro de 2010 o seu volume útil foi reduzido a 54,48%, chegando a 12,26% em dezembro de 2014. Os resultados do presente estudo evidenciam que as comunidades de macroinvertebrados variaram significativamente entre os anos 2010 e 2014. No ano de seca atípica houve redução na abundância e riqueza de macroinvertebrados. Esse fato foi anteriormente observado pelo estudo de Boix et al. (2010) em rios tanto a montante como a jusante de um reservatório, e observaram que em períodos de seca comunidades de macroinvertebrados são afetadas negativamente, de modo que o tamanho das populações e a riqueza de espécies são reduzidas, especialmente as espécies nativas e sensíveis à poluição.

Perturbações hidrológicas podem implicar em alterações nas características do ambiente (por exemplo, tipo de sedimentos) relevantes para a estrutura de comunidades bentônicas (Navarro et al., 2009). Em 2014 ocorreu flutuação do nível de água no reservatório da UHE de Nova Ponte, resultando em redução acentuada do espelho d'água o que pode explicar a composição granulométrica nesse ano ser composta basicamente por sedimentos finos. Assim, o que antes era região limnética, com a depleção da água, tornou-se região litorânea. Isso pode ter contribuído para a baixa diversidade de macroinvertebrados nesse ano de seca atípica. Molozzi et al. (2011) ressaltam que a composição granulométrica é considerada o fator que mais influencia a distribuição de macroinvertebrados bentônicos, e assim, quanto mais diversificado for o sedimento maior a disponibilidade de abrigos e proteção para esses organismos.

Os Oligochaeta e as larvas de Chironomidae e Chaoboridae estiveram presentes e abundantes nos dois períodos de amostragens. Em 2014, considerado um ano de chuva atípica, esses organismos foram os *taxa* dominantes, pois possuem alta resistência, não sendo sensíveis às mudanças na depleção do nível de água no reservatório (Dollar et al., 2013). No entanto, esses organismos apresentam altas taxas de reprodução e possuem adaptação rápida a mudanças na

qualidade de água (Ledger et al., 2013). Muitas larvas de Chironomidae vivem em sedimentos finos que proporcionam refúgios a períodos de altas temperaturas e baixas concentrações de oxigênio relacionados com a seca (Ledger et al., 2012). O gênero *Tanypus* foi um dos mais abundantes entre a família Chironomidae no ano de 2014. Silva et al. (2009) ressaltam que larvas de *Tanypus* têm preferências por lugares rasos, com cerca de 2 m de profundidade, e são conhecidos como organismos tolerantes à poluição orgânica.

Os usos e tipos de ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE de Nova Ponte apontam aspectos positivos, apresentando poucas construções, em sua maioria sendo ocupados por matas e campos, visto que ocorreram poucas alterações ao longo dos quatro anos entre as duas campanhas de amostragens. McGoff et al. (2013) ressaltam a importância da vegetação ripária para a qualidade ambiental e manutenção de ecossistemas aquáticos, e que ambientes com pouca vegetação são cerca de três vezes mais propensos a apresentar piores condições ecológicas.

Em 2010 a espécie *Corbicula fluminea* obteve a maior porcentagem entre as espécies exóticas com 9,3%, obtendo uma baixa em 2014 encontrando-se com 7,3%. Esta espécie é originária do sudeste asiático e seus primeiros registros no Brasil foram na região sul (Suriani et al., 2007), e desde então vem se distribuindo em quase todo o país. Sabe-se que sua introdução vem causando sérias consequências para os ecossistemas lacustres, tanto para a biodiversidade local como economicamente, devido à incrustação e obstrução de equipamentos de hidrelétricas e coletores de água (Cataldo & Boltovskoy, 1999).

Devido à seca prolongada ocorrida no reservatório da UHE de Nova Ponte houve uma grande depleção no nível de água, ocorrendo uma ressuspensão de sedimentos aumentando assim os níveis de turbidez nesse período, o que pode ter explicado a baixa abundância da espécie *Corbicula fluminea* em 2014. Alguns estudos mostram que esse parâmetro pode aumentar a taxa de mortalidade dessa espécie (Avelar et al., 2014; Neves et al., 2014). O tipo de sedimento pode

também influenciar a mortalidade desse organismo, onde frações muito finas exigem gasto energético maior para manter a posição do animal no sedimento, podendo também obstruir a cavidade palial (Vianna & Avelar, 2010).

Os resultados obtidos corroboraram parcialmente a hipótese estudada, visto que foram observadas diferenças significativas entre os dados de abundância e riqueza de macroinvertebrados bentônicos entre os anos de 2010 (ano climatológico normal) e 2014 (ano de chuva atípica). Nesse contexto, foi rejeitada a predição de que ocorreria maior abundância de espécies exóticas no ano de chuva atípica. Por outro lado, foi corroborada a predição de que haveria redução da diversidade de macroinvertebrados em um ano seco. Por fim, foi rejeitada a predição de que a riqueza e abundância de gêneros de Chironomidae aumentariam, visto que no ano de chuva atípica suas abundâncias não se alteraram. Em síntese, este estudo evidencia as consequências ecológicas de um evento climático atípico sobre a biota aquática em um reservatório hidrelétrico no bioma cerrado. As metodologias de avaliação ambiental aqui utilizadas poderão subsidiar programas de estudos ecológicos em outras bacias hidrográficas tropicais no contexto de mudanças globais no clima.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa P&D ANEEL/CEMIG GT-487 pelo financiamento do projeto. À CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro. 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 nas coletas de campo, processamento em laboratório e análises estatísticas. Como também ao Laboratório de Ecologia de Bentos da UEPB pelo apoio e parceria. Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (UEPB) pelo suporte técnico, ao PROCAD/CAPES pela cooperação entre os programas de Pós-Graduação PPGE/ECMVS como também a mobilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ana, Agência Nacional de Águas, 2015, Disponível: [conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf](http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf). Acesso: 05/04/2015.
- Angrandi, T. R., Jicha, T. M., 2010, Mesohabitat-specific macroinvertebrate assemblage responses to water quality variation in mid-continent (North America) great rivers. *Ecological Indicators*, 10: 943-954.
- Avelar, W. E. P., Neves, F. F., Lavrador, M. A. S., 2014, Modelling the risk of mortality of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Bivalvia: Corbiculidae) exposed to different turbidity conditions. *Brazilian Journal of Biology*, 74(2): 509-514.
- Atkinson, C. L., Julian, J. P., Vaughn, C. C., 2014, Species and function lost: Role of drought in structuring stream communities. *Biological Conservation*, 176: 30-38.
- Callisto, M., Alves, C. B. M., Pompeu, P. S., Lopes, J. M., Prado, N. J. S., França, J. S., Freitas, R. F., Lima, I. R. N., Conrado, M., 2014, Idealização, implantação, planejamento, logística, apoios, integração e gestão. In: Callisto, M., Alves, C. B. M., Lopes, J. M., Castro, M. A. (org.) *Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos*. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, (Série Peixe Vivo, 2), 1: 31-46.

- Callisto, M., Esteves, F., 1996, Composição granulométrica do sedimento de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lago natural. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 8:115-126.
- Carpenter, S. R., Stanley, E. H., Zanden, M. J. V., 2011, State of the World's Freshwater Ecosystems: Physical, Chemical, and Biological Changes. *Annual Review of Environment and Resources*, 36: 75-99.
- Carmouze, J. P., 1994, O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, FAPESP, 255p.
- Carvalho, A. L., Calil, E. R., 2000, Chaves de identificação para Famílias de Odonata (Insecta) ocorrentes no Brasil, adultos e larvas. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 41(15): 223- 241.
- Cataldo, D., Boltovskoy, D., 1999, Population dynamics of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) in the Paraná River Delta. *Hydrobiologia*, 153: 153-163.
- CEMIG- (Companhia Energética de Minas Gerais) 2015, Disponível em: [http://www.cemig.com.br/pt\\_br/a\\_cemig/Nossa\\_Historia/Paginas/Usinas\\_Hidreletricas.htm](http://www.cemig.com.br/pt_br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/Usinas_Hidreletricas.htm)  
<http://www.cemig.com.br/>. Acesso: 18/03 /2015.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2001, Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2000. São Paulo, 2: 1-216.
- Clima Change, 2008, Disponível em: [http://www.oyds.com/news\\_centre/360\\_risk\\_insight/the\\_debate\\_on\\_climate\\_chane](http://www.oyds.com/news_centre/360_risk_insight/the_debate_on_climate_chane). Acesso: 15/03/2015.
- Costa, C., S., Simonka, C. S., 2006, Insetos Imaturos Metamorfose e Identificação. Ribeirão Preto. Ed. Helos, 249p.
- Dollar, E., Edwards, F., Stratford, C., May, L., Biggs, J., Laize, C., Acreman, M., Blake, J., Carvalho, L., Elliott, A., Gunn, I., Hinsley, S., Mountford, O., Nunn, M., Preston, C., Sayer, E., Schonrogge, K., Spears, B., Spurgeon, D., Winfield, I., Wood, P., 2013, Monitoring and Assessment of Environmental Impacts of Droughts. Environment Agency, 1-84.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Zen-Ichiro., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., Sullivan, C.

- A., 2006, Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2): 163-182.
- Durães, R., Pompeu, P. S., Godinho, A. L., 2001, Alimentação de quatro espécies de *Leporinus* (Characiformes, Anostomidae) durante a formação de um reservatório no sudeste do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 90: 183-191.
- Epler, J. H., 2001, Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. Department of Environmental and Natural Resources. Division of Water quality. Raleigh and St. Johns River Water Management District, Palatka, 526p.
- 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. *Oecologia Brasiliensis*, 1: 407-416.
- Esteves, F. A., Leal, J. J. F., Callisto, M., 2011, Comunidade Bentônica. In: Esteves, F. A. (Org.) *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 3. ed., 581-607.
- Ferreira, W. R., Paiva, L. T., Callisto, M., 2011, Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed. *Brazilian Journal of Biology*, 71(1): 15-25.
- Fernández, H. R., Domínguez, E., 2001, Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos. *Sudamericanos*. Tucumán. UNT, 282p.
- Giehl, N. F. S., Dias-Silva, K., Juen, L., Batista, J. D., Cabette, H. S. R., 2014, Taxonomic and numerical resolutions of *Nepomorpha* (Insecta: Heteroptera) in Cerrado streams. *PLoS ONE*, 9(8). e 103623. doi:10.1371/journal.pone.0103623.
- Golterman, H. L., Clymo, R. S., Ohnstad, M. A. M., 1978, *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. Oxford: Blackwell Scientific, 214p.
- Hammer, O., Harper, D. A. T., Ryan, P. D., 2003, PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol Electron*, 4.
- Hughes, S. J., Santos, J. M., Ferreira, M. T., Carac, A. R., Mendes, A. M., 2009, Ecological assessment of an intermittent Mediterranean river using community structure and function: evaluating the role of different organism groups. *Freshwater Biology*, 54: 2383-2400.

- IGAM, 2014, Estudos de avaliação da precipitação em bacias do estado: Acordo de resultados 2014. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas>. Acesso: 10/03/2015.
- IGAM, 2015, Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas>. Acesso: 20/03/2015.
- IPCC, 2013, Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso: 01/03/2015.
- Kaufmann, P. R., Hughes, R. M., Sickle, J. V., Whittier, T. R., Seeliger, C. W., Paulsen, S. G., 2014a, Lakeshore and littoral physical habitat structure: A field survey method and its precision. *Lake and Reservoir Management*, 30(2): 157-176.
- Kaufmann, P. R., Hughes, R. M., Whittier, T. R., Bryce, S. A., Paulsen, S. G., 2014b, Relevance of lake physical habitat indices to fish and riparian birds, *Lake and Reservoir Management*, 30:2 177-19.
- Lake, P. S., 2000, Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 19: 573–592.
- Lake, P. S., 2003, Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology*, 48: 1161–1172.
- Ledger, M. E., Harris, R. M. L., Armitage, P. D., Milner, A. M., 2012, Climate Change Impacts on Community Resilience: Evidence from a Drought Disturbance Experiment. *Advances in Ecological Research*, 46: 211-258.
- Ledger, M. E., Brown, L. E., Edwards, F. K., Hudson, L. N., Milner, A. M., Woodward, G., 2013, Extreme Climatic Events Alter Aquatic Food Webs: A Synthesis of Evidence from a Mesocosm Drought Experiment. *Advances in Ecological Research*, 48: 343-395.
- Ligeiro, R., Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Macedo, D. R., Firmiano, K. R., Ferreira, W., Oliveira, D., Melo, A. S., Callisto, M., 2013, Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. *Ecological Indicators*, 25: 45-57.
- Macedo, D. R., Pompeu, P. S., Morais, L., Castro, M. A., Alves, C. B. M., França, J. S., Sanches, B., Uchôa, J., Callisto, M., 2014, Uso e ocupação do solo, sorteio de sítios amostrais, reconhecimento em campo e realização de amostragens. In: Callisto, M., Alves, C. B. M., Lopes, J. M., Castro, M. A. (org.) *Condições ecológicas em bacias hidrográficas de*

- empreendimentos hidrelétricos. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, (Série Peixe Vivo, 2), 1: 47-68.
- MacKay, F., Cyrus, D., Russell, K. L., 2010, Macrobenthic invertebrate responses to prolonged drought in South Africa's largest estuarine lake complex. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 86: 553-567.
- Mackereth, F. J., Heron, H. J., Talling, J. F., 1978, Water analysis: some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association Scientific Publication, Ambleside, 36: 120p.
- McArdele B. H., Anderson, M. J., 2001, Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology*, 82: 290-297.
- Mantel, N. A., 1967, The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27:209-220.
- Martins, I., Sanches, B., Kaufmann, P. R., Hughes, R. M., Santos, G. B., Molozzi, J., Callisto, M., 2015, Ecological assessment of a southeastern Brazil reservoir. *Biota Neotropica*, 15(1): 1-10.
- McGoff, E., Aroviita, J., Pilotto, F., Miler, O., Solimini, A. G., Porst, G., Jurca, T., Donohue, L., Sandin, L., 2013, Assessing the relationship between the Lake Habitat Survey and littoral macroinvertebrate communities in European lakes. *Ecological Indicators*, 25: 205-214.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., 1996, An introduction to the aquatic insects of North America, 3rd ed. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, 3: 862.
- 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 Série Zoologia*, 101: 191-199.
- Molozzi, J., Feio, M. J., Salas, F., Marques, J. C., Callisto, M., 2013, Maximum ecological potential of tropical reservoirs and benthic invertebrate communities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(8): 6591- 6600.
- Morais, L., Farias, R. L., Martins, I., Barbosa, J. E. L., Molozzi, J., Anacleto, M. J., Callisto, M., 2014, Bioindicadores bentônicos de qualidade ambiental em reservatórios da CEMIG. In: Callisto, M., Alves, C. B. M., Lopes, J. M., Castro, M. A. (org.) *Condições ecológicas em*

- bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, (Série Peixe Vivo, 2), 1: 161-184.
- Mugnai, R., Nessimian, J. L., Baptista, D. F., 2010, Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Editora Technical Books, 176p.
- Navarro, E., Caputo, L., Marcé. R., Carol. J., Benejam. L., García-Berthou. E., Armengol. J., 2009, Ecological classification of a set of Mediterranean reservoirs applying the EU Water Framework Directive: A reasonable compromise between science and management. *Lake and Reservoir Management*, 25: 364-376.
- Neves, F. F., Lavrador, M. A. S., Costa, A. S., Avelar, W. E. P., 2014, The effect of exposure to suspended sediment in mortality of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Bivalvia: Corbiculidae). *American Journal of Life Sciences*, 2(3): 150-154.
- ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2015. Disponível: [http://www.ons.org.br/tabela\\_reservatorios/conteudo.asp](http://www.ons.org.br/tabela_reservatorios/conteudo.asp). Acesso: 17/03/2015.
- Padial, P. R., Pompêo, M., Moschini-Carlos, V., 2009, Heterogeneidade espacial e temporal da qualidade da água no reservatório Rio das Pedras (Complexo Billings, São Paulo). *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied*, Taubaté, 4(3): 35-53.
- Pérez, G. P., 1988, Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Editorial Presencia Ltda. Bogotá, 217p.
- Rapport, D. J., Whitford, W. G., 1999, How Ecosystems Respond to Stress. *BioScience*, 49(3): 193-203.
- Resh, V. H., Bêche, L. A., Lawrence, J. E., Major, R. D., McElravy, E. P., O'Dowd, D., Rudnick, D., Carlson, S. M., 2013, Long-term population and community patterns of benthic macroinvertebrates and fishes in Northern California Mediterranean-climate streams. *Hydrobiological*, 719: 93-118.
- Rossaro, B., Boggero, A., Lods Crozet, B. Free, G. Lencioni, V., Marziali, L., 2011, A comparison of different biotic indices based on benthic macro-invertebrates in Italian lakes. *Journal of Limnology*, 70(1): 109-122.

- Rosin, G. C., Mangarotti, D. P. O., Takeda, A. M., 2010, Chironomidae (Diptera) community structure in two subsystems with different states of conservation in a floodplain of southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 22(3): 276-286.
- Rosin, G. C., Takeda, A. M., 2007, Larvas de Chironomidae (Diptera) da planície de inundação do alto rio Paraná: distribuição e composição em diferentes ambientes e períodos hidrológicos. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 29(1): 57-63.
- StatSoft, 2011, Statistica (data analysis software system). Disponível em: <http://www.statsoft.com>. Acesso: 22/07/2014.
- Stevens, D. L. & Olsen, A. R., 2004, Spatially balanced sampling of natural resources. *Journal of the American Statistical Association*, 99: 262-278.
- Silva, F. L., Paulito, G. M., Talamoni, J. L. B., Ruiz, S. S., 2009, Functional trophic categorization of macroinvertebrate communities of two reservoirs in the midwestern region of São Paulo state, Brazil. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 31(1): 73-78.
- Silveira, M. P., 2004, Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 68p.
- Suguio, K., 1973, Introdução à sedimentologia. Ed. Edgard Blucher, EDUSP, São Paulo, 317p.
- Suriani, A. L., França, R. S., Rocha, O., 2007, A malacofauna bentônica das represas do médio Tietê uma avaliação ecológica das espécies exóticas invasoras, *Melanoides tuberculata* e *Corbicula fluminea*. *Revista Brasileira de Zoologia* 24(1): 21-32,
- Trivinho-Strixino, S., 2011, Larvas de Chironomidae: Guia de identificação. São Carlos. Depto. Hidrobiologia/Lab. Entomologia Aquática/UFSCar, 371p.
- Tundisi, J. G., Matsumura-Tundisi, T., 2008, Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, Capítulo 12, 313p.
- USEPA, 2012, Nacional Lakes Assessment. Field Operations Manual. EPA. 841-B-11-003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Vianna, M. P., Avelar, E. P. A., Ocorrência da espécie invasora *Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbiculidae) no rio Sapucaí (São Paulo, Brasil), *Biotemas*, 23 (3): 59-66.

Winkler, L. W., 1888, Die Bertimmung des im wasser gelösten Sauer-stoffs. Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 21: 2843-2854.

Zar, J. H., 1996, Biostatistical Analysis. ed.3, editora: Prentice Hall, 663p.

