

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS



COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG

**CONDIÇÕES ECOLÓGICAS
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS
DE EMPREENDIMENTOS
HIDRELÉTRICOS.**

BELO HORIZONTE

CEMIG

2014

ISBN 978-85-87929-52-5

Copyright: Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig

Presidência: Djalma Bastos de Moraes

Diretoria de Geração e Transmissão: Luiz Henrique de Castro Carvalho

Superintendência de Gestão Ambiental da Geração e Transmissão: Enio Marcus Brandão Fonseca

Gerência de Estudos e Manejo da Ictiofauna e Programas Especiais: Newton José Schmidt Prado

Organizadores:

Marcos Callisto

Carlos Bernardo Mascarenhas Alves

João de Magalhães Lopes

Míriam Aparecida de Castro

Coordenação de Edição:

Daniella Delbem de Amorim

Raquel Coelho Loures Fontes

Andreia Moraes Otoni

Endereço:

Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais

Superintendência de Gestão Ambiental da Geração e Transmissão

Av. Barbacena, 1200 – 13º A1

30190-131 Belo Horizonte (Minas Gerais) / Brasil

Companhia Energética de Minas Gerais.
Condições ecológicas em bacias hidrográficas de
empreendimentos hidrelétricos / Organizadores: Marcos
Callisto, Carlos Bernardo Mascarenhas Alves, João de
Magalhães Lopes, Míriam Aparecida de Castro. - Belo
Horizonte: Cemig, 2014.
264p.: ilust.

ISBN 978-85-87929-52-5

1. Bacias hidrográficas – Minas Gerais – Aspectos ambientais. 2. Reservatórios – Qualidade ambiental. I. Companhia Energética de Minas Gerais. II. Callisto, Marcos. III. Alves, Carlos Bernardo Mascarenhas. IV. Lopes, João de Magalhães. V. Castro, Míriam Aparecida. VI. Título.

CDD: 574



*“Este livro é dedicado à memória de
nosso amigo Volney Vono, que subiu para contar suas
histórias divertidas, deixando aqui saudades”.*

CRÉDITOS DOS COAUTORES DE CAPÍTULOS DO LIVRO

Arthur dos Santos Barbosa

Formou-se como técnico em Edificações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2013). arthurpx4@hotmail.com

Bárbara Becker

Graduada em Ciências Biológicas (2010), pela Universidade Federal de Minas Gerais e mestre em Zoologia dos Vertebrados (2013), pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, onde atualmente é bióloga colaboradora. Atua na área de Ecologia, com ênfase em estrutura de comunidades e conservação de peixes de água doce. barbara_becker@ymail.com

Bárbara de Oliveira Sanches

Graduada em Ciências Biológicas (2008) e mestre em Zoologia dos Vertebrados (2011), pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Pesquisadora colaboradora do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas. Atua na área de ecologia em estudos relacionados à estrutura e conservação de comunidades de peixes de água doce e a Índices de Integridade Biótica. barbara.osanches@gmail.com

Carlos Bernardo Mascarenhas Alves

Graduado em Ciências Biológicas (1989), mestre em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (1995) pela Universidade Federal de Minas Gerais. Membro do Projeto Manuelzão (UFMG) desde 1999, coordenando as atividades de Biomonitoramento. Consultor da Bio-Ambiental Consultoria Ltda., desde 1996. cbmalves@ufmg.br

Catarina Helena I. A. Siqueira

Formou-se como técnica em Edificações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Edificações (2013). catarina.chias@gmail.com

Cecília Gontijo Leal

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2005), Mestre em Ecologia Aplicada pela Universidade Federal de Lavras (2009), aluna de doutorado em regime de cotutela pela UFLA e pela Lancaster University, Reino Unido. Membro da equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA. c.gontijoleal@gmail.com

Daniela C. Fagundes

Graduada em Ciências Biológicas (2013) e mestranda em Ecologia Aplicada pela Universidade Federal de Lavras. Membro da equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA. danielafagundes87@gmail.com

Débora R. Carvalho

Graduada em Ciências Biológicas (2012) e mestre (2014) em Ecologia Aplicada pela Universidade Federal de Lavras. Bolsista de apoio técnico do Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA. deboracarvalhobio@yahoo.com.br

Déborah Silva

Licenciada em Ciências Biológicas (2009) pela Universidade Federal de Minas Gerais, mestre (2012) e doutoranda em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais. deborah.ufmg@gmail.com

Diego Marcel Parreira de Castro

Bacharel em Ciências Biológicas (2008) pela Universidade Federal de Lavras, mestre (2012) e doutorando em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais. diegobioufla@gmail.com

Diego Rodrigues Macedo

Bacharel (2005) e Mestre em Geografia (2009), Doutor em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (2013) pela Universidade Federal de Minas Gerais. Analista em Informações Geográficas e Estatísticas no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística desde 2010. diego.macedo@ibge.gov.br

Enio Marcus Brandão Fonseca

Engenheiro Florestal formado na Universidade Federal de Viçosa, MBA em Gestão Negócios pela Fundação Getúlio Vargas, Assessor Técnico do Fórum de Meio Ambiente do Setor Elétrico, Conselheiro do Copam-MG, Superintendente de Gestão Ambiental da Cemig Geração. enio@cemig.com.br

Gilmar Bastos Santos

Graduado em Ciências Biológicas (1978) pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre (1986) e Doutor em Ecologia e Recursos Naturais (1999) pela Universidade Federal de São Carlos. Professor Adjunto III do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC-MG desde 2001. gilmarsantos4@hotmail.com

Hersília de A. e Santos

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002). Mestre (2004) e Doutora (2007) pelo programa em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (2004). Atualmente é professora do Departamento de Engenharia Civil no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e realiza Pós-doutorado em The University of Iowa (EUA). hsantos@civil.cefetmg.br

Isabela Sobrinho Martins

Graduada em Ciências Biológicas (2013), mestranda no Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo Vida Silvestre, pela Universidade Federal de Minas Gerais. isa.bela57@hotmail.com

Isabela Rocha Nunes de Lima

Graduada em Administração de Empresas (2001) e especialista em gestão de Projetos (2007) pela Universidade Fumec. Gerente de Projetos na Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (Fundep), desde 2008. isabelalima@fundep.ufmg.br

Isabelle Tanne Couto e Silva

Formou-se como técnica em Edificações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2013). belle.couto@hotmail.com

Janaina Uchôa Medeiros Agra

Bacharel em Ciências Biológicas (2012) pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestranda no Programa de Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, da Universidade Federal de Minas Gerais. jana_uchoa@hotmail.com

João de Magalhães Lopes

Graduado em Ciências Biológicas pela UFMG (1999), mestre em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela UFMG (2003), doutorando em Ecologia Aplicada na UFLA. Analista ambiental da Cemig Geração desde 2002, atua na área de conservação e manejo da ictiofauna nativa. joaoml@cemig.com.br

José Etham Lucena Barbosa

Graduado em Ciências Biológicas (1989), mestre em Botânica (1996), doutor em Ecologia e Recursos Naturais (1996) pela UFSCar, professor de Ecologia na UEPB desde 1992, coordenador da equipe do Laboratório de Ecologia Aquática (LEAQ/UEPB). etham@uepb.edu.br

Joseline Molozzi

Graduação em Ciências Biológicas (2003), Pós-graduação nível especialização em Ciências Ambientais-Interpretação Ambiental (2004), Mestrado em Engenharia Ambiental (2006) e Doutorado em Ecologia (2012), Doutorado Sanduiche Portugal, professora de Ecologia na Universidade Estadual da Paraíba (2012). Coordenadora do Laboratório de Ecologia de Bentos-UEPB. jmolozzi@gmail.com

Juliana Silva França

Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002). Apoio Técnico do Laboratório de Ecologia de Bentos desde 2001. jsfranca@yahoo.com.br

Kele Rocha Firmiano

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2011) e mestre (2014) em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais. kelerocha@gmail.com

Letícia de Moraes

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Espírito Santo (2010) e mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais (2013). leticiademorais@gmail.com

Marcela A. Souza

Graduada em Ciências Biológicas (2013) e mestranda em Ecologia Aplicada pela Universidade Federal de Lavras. Membro da equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA. marcelaalvesdesouza@gmail.com

Marcos Callisto

Graduado em Ciências Biológicas (1992), mestre em Ecologia (1994), Doutor em Ciências (1996) pela UFRJ, professor de Ecologia na UFMG desde 1997, coordenador equipe do Laboratório de Ecologia de Bentos. callistom@ufmg.br, site: www.icb.ufmg.br/labs/benthos

Maria Isabel Martins

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2011). Atualmente cursa Engenharia de Produção Civil no CEFET-MG. misabel.martins@yahoo.com.br

Maria José Anacleto

Graduada em Ciências Biológicas (2012) pela UEPB, mestranda pelo programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação na UEPB, estagiária do Laboratório de Ecologia de Bentos-UFMG. mariajose_anacleto@yahoo.com.br

Mariana Sousa Conrado

Graduada em Jornalismo (2007) e especialista em Comunicação Empresarial (2009) pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (UNI-BH). Analista de comunicação social na Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (Fundep), desde 2011. marianaconrado@fundep.ufmg.br

Míriam Aparecida de Castro

Graduada em Ciências Biológicas (2009) e mestre em Ecologia Aplicada (2012) pela Universidade Federal de Lavras. Membro da equipe do Programa Peixe Vivo desde 2012, desempenhando atividade nas áreas de Piscicultura e Peixamentos, Apoio em Operações de Usinas e Monitoramento da Ictiofauna. miriamapcastro@yahoo.com.br

Nara T. Junqueira

Graduada em Ciências Biológicas (2008) e mestre em Ecologia Aplicada (2011) pela Universidade Federal de Lavras. Membro da equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes da Universidade Federal de Lavras. naratadini@yahoo.com.br

Newton José Schmidt Prado

Formado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras – UFLA em 1979. Coordenador Ambiental da regional centro-sul da Cemig no período de 1991 a 2004. Ainda pela Cemig, foi assistente da gerência de meio ambiente no período de 2004 a 2007, coordenador do Programa Peixe Vivo de 2007 a 2009 e atualmente é Gerente de Estudos e Manejo da Ictiofauna e Programas Especiais desde 2009. newtonj@cemig.com.br

Paulo dos Santos Pompeu

Graduado em Ciências Biológicas (1995), mestre em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (1997), doutor em Hidráulica e Recursos Hídricos (2005) pela Universidade Federal de Minas Gerais, professor do Setor de Ecologia da Universidade Federal de Lavras desde 2005, coordenador da equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA. pompeu@dbi.ufla.br

Pedro Luis Andrade Gomes

Graduado em Ciências Biológicas (2010), mestrando em Zoologia de Vertebrados (2014) pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. pedrogomes1404@hotmail.com

Philip R. Kaufmann

Graduado em Biologia pela Gonzaga University (1971) e mestre pela Washington State University no programa Environmental Science/Limnology (1977). Doutor pela Oregon State University no programa Forest Hydrology (1987). Atualmente é pesquisador na Western Ecology Division da National Health and Environmental Effects Laboratory, da Office of Research and Development da United States Environmental Protection Agency (US-EPA). kaufmann.phil@epa.gov

Rafaela Lima de Farias

Graduada em Ciências Biológicas (2011), mestre em Ecologia e Conservação (2014) pela Universidade Estadual da Paraíba. rafaela_lima88@hotmail.com

Raphael Ligeiro

Bacharel em Ciências Biológicas (2006) pela Universidade Federal de Minas Gerais, e mestre (2008) e doutor (2013) pelo Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Adjunto na UFPA. ligeirobio@gmail.com

Raquel Coelho Loures Fontes

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG (2006). Mestre em Ecologia Aplicada pela Universidade Federal de Lavras – UFLA (2011). Analista de Meio Ambiente desde 2006 na Cemig Geração e Transmissão, coordenadora do Programa Peixe Vivo, atuando principalmente nas áreas de ecologia e manejo de peixes de água doce, com ênfase em impactos de hidrelétricas e monitoramento da ictiofauna. raquel.fontes@cemig.com.br

Renata Ferreira de Freitas

Graduada em Administração de Empresas (2005) e especialista em Gestão Financeira (2008) pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Analista de Projetos na Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (Fundep), desde 1999. renatagonze@fundep.ufmg.br

Robert Mason Hughes

Graduado em Biologia e Psicologia (1967) e Mestre em Planejamento de Recursos e Conservação (1973) pela University of Michigan, Doutor em Fisheries (1979) pela Oregon State University. Cientista Sênior, Amnis Opes Institute e Department of Fisheries & Wildlife, Oregon State University, 2895 SE Glenn, Corvallis, Oregon 97333, USA. Presidente da American Fisheries Society (2013-2014), 5410 Grosvenor Lane, Bethesda, Maryland 20814, USA. hughes.bob@amnisopes.com

Stephanie Fernandes Cunha

Formou-se como técnica em Edificações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2008) e graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (2013). Entre 2012 e 2013 foi bolsista pelo programa Ciência sem Fronteiras em The University of Iowa (EUA). stephaniefernandesc@hotmail.com

Tiago Casarim Pessali

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Atualmente é biólogo da Seção de Peixes do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Atua na área de ecologia, com ênfase em estrutura de comunidades e conservação de peixes de água doce. tcpessali@hotmail.com

Wander Ribeiro Ferreira

Graduado em licenciatura - Ciências Biológicas (2001) e bacharel em Ecologia (2004) pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Ciências Biológicas (2009) pela Universidade Estadual de Montes Claros e doutor em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (2013) pela Universidade Federal de Minas Gerais. Atualmente atua como pesquisador Pós-doc no Laboratório de Ecologia de Bentos ICB/UFMG. ferreirawr@gmail.com

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| PREFÁCIO CEMIG | 16 |
| PREFÁCIO | 20 |
| CAPÍTULO 1 Benefícios de Colaborações Internacionais | 23 |
| CAPÍTULO 2 Rede de pesquisas do Projeto IBI-Cemig: idealização, implantação, planejamento, logística, apoios, integração e gestão | 31 |
| CAPÍTULO 3 Uso e Ocupação do Solo, sorteio de sítios amostrais, reconhecimento em campo e realização de amostragens | 47 |
| CAPÍTULO 4 Estrutura da ictiofauna de riachos do cerrado de Minas Gerais | 69 |
| CAPÍTULO 5 Análises sedimentológicas a partir do emprego de protocolos de avaliação rápida em cursos d'água | 97 |
| CAPÍTULO 6 Macroinvertebrados bentônicos em riachos de cabeceira: múltiplas abordagens de estudos ecológicos em bacias hidrográficas | 127 |
| CAPÍTULO 7 Bioindicadores bentônicos de qualidade ambiental em reservatórios da Cemig | 161 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 8 | 185 |
| A Ictiofauna de quatro reservatórios da Cemig: caracterização das comunidades | |
| CAPÍTULO 9 | 215 |
| Conclusões | |
| CAPÍTULO 10 | 235 |
| Perspectivas na abordagem de Índices de Integridade Biótica com peixes e bentos em bacias hidrográficas no cerrado | |
| CAPÍTULO 11 | 241 |
| Anexos: Tradução dos Protocolos US-EPA, cálculo de métricas (riachos e reservatórios), listagem de materiais | |

PREFÁCIO CEMIG

A matriz energética brasileira é constituída basicamente de hidrelétricas, devido ao fato de o país possuir uma das maiores disponibilidades hídricas do planeta, possuindo grandes bacias hidrográficas com alto potencial de aproveitamento hidrelétrico. O Grupo Cemig nos últimos anos tem vivido um notável crescimento. Adquiriu novos ativos em várias atividades relacionadas ao seu negócio, tornando-se um dos mais sólidos e importantes grupos do segmento de energia elétrica do Brasil. A Cemig tem suas operações coordenadas por uma holding, a Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig e duas subsidiárias: a Cemig Geração e Transmissão S.A. (Cemig GT) e a Cemig Distribuição S.A. (Cemig D), além de possuir participações em 120 sociedades e 16 consórcios e um fundo de participação, com ativos em 23 estados brasileiros e no Chile. Ocupando a terceira posição entre as maiores geradoras do país, a Cemig, por meio de suas subsidiárias integrais, controladas e coligadas de geração, possui em operação 66 usinas, sendo 60 hidrelétricas, três termelétricas e três eólicas, com 7.038 MW de capacidade instalada.

O barramento de rios para a geração de energia elétrica promove uma série de modificações no ecossistema aquático, com alterações no regime hidrológico impactando a fauna de vertebrados e invertebrados que habitam esses ambientes. O Setor Elétrico Brasileiro vem procurando entender a dinâmica dos reservatórios formados quando da construção de suas hidrelétricas, e como a gestão do território onde as mesmas estão localizadas podem alterar a qualidade ambiental de suas águas. Grande parte do conhecimento sobre nossos peixes e da qualidade da água dos nossos rios e reservatórios foi financiada pelo setor e observamos uma crescente preocupação com as questões ambientais para atenuação de impactos causados pelo represamento.

Em 2007, a partir da percepção por parte do corpo diretivo da Cemig de que era necessária a adoção de medidas mais efetivas para a conservação da ictiofauna dos rios onde a Empresa possui empreendimentos, foi lançado o Programa Peixe Vivo. Suas principais ações estão sintetizadas na missão do programa, que é “Minimizar o impacto sobre a ictiofauna buscando soluções e tecnologias de manejo que inte-

grem a geração de energia elétrica pela Cemig com a conservação das espécies de peixes nativas, promovendo o envolvimento da comunidade”. Desde a sua criação, o programa atua em duas frentes, uma buscando a preservação da ictiofauna no estado de Minas Gerais e a outra focando nas definições de estratégias de proteção para evitar e prevenir a morte de peixes nas usinas hidrelétricas da Cemig. Ambas as frentes são trabalhadas em três bases: desenvolvimento de projetos de pesquisa, com parcerias com centros de pesquisa; ações de manejo e conservação, com parcerias internas na própria empresa; e envolvimento com a comunidade, criando oportunidades para que a sociedade exponha seus anseios e sugestões.

Assim, com a constituição do Programa Peixe Vivo, tivemos a oportunidade de discutir com a Academia e com a Sociedade as principais linhas de pesquisa e os projetos a serem desenvolvidos pelo Programa. Analisando a proposta do projeto de pesquisa “Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica (IBI em inglês) como ferramenta para avaliar a qualidade ambiental e subsidiar a restauração de habitats em áreas de soltura de alevinos pela Cemig”, vislumbramos uma importante ferramenta de gestão ambiental, com a possibilidade de aplicação dessa técnica nas bacias de drenagem dos reservatórios da Cemig. A ideia do projeto sobre IBI se baseou na experiência de países como Estados Unidos, Austrália, Espanha e Alemanha, onde estes índices foram desenvolvidos como ferramentas para o monitoramento, em grande escala, da qualidade ecológica da água. No Brasil os trabalhos que tratam de IBIs são raros e em geral mais restritos, pois utilizam dados das comunidades de peixes. Entretanto, os índices que incorporam, além de peixes, macroinvertebrados e dados físico-químicos do ambiente, consideram os efeitos de múltiplos impactos e agregam medidas biológicas individuais em um único valor que pode ser usado para avaliar a condição geral do local.

Em 2009, foi então criada uma parceria para desenvolvimento deste projeto, com aporte financeiro do Programa Peixe Vivo da Cemig, envolvendo profissionais e professores de quatro instituições de Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas) e o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Além dessas, duas instituições norte-americanas

(Oregon State University e US Environmental Protection Agency) também atuaram como grandes colaboradoras ao projeto. Quatro áreas de estudo foram escolhidas para desenvolvimento desta ferramenta: as bacias dos reservatórios de Nova Ponte (rio Araguari), de Três Marias (rio São Francisco), de Volta Grande (rio Grande) e de São Simão (rio Paranaíba). Em cada um dos empreendimentos foram escolhidos 40 pontos em riachos afluentes e outros 40 pontos na orla do reservatório, totalizando 320 pontos de amostragem, um esforço raramente encontrado em trabalhos de pesquisa no Brasil.

A nova abordagem amplia a avaliação ambiental, antes limitada à coleta de parâmetros da água, invertebrados e peixes, com interpretações na escala regional (uso e ocupação do solo, presença de áreas urbanas, de agricultura, pastagens, reflorestamento) e local (vegetação ciliar, morfologia do canal, aspectos hidráulicos, habitats físicos para os grupos biológicos, substrato, etc.). As adaptações propostas aos protocolos americanos, já traduzidos para a língua portuguesa, poderão ser aplicadas em outras bacias hidrográficas brasileiras por universidades, centros de pesquisa, órgãos gestores estaduais e federais, comitês de bacia, etc., para padronização e unificação de metodologias que tornem comparáveis as informações geradas no licenciamento ambiental, monitoramento e pesquisa científica.

Os vultosos resultados apresentados pelo projeto até o momento, com mais de 50 produtos científicos já publicados, entre teses, dissertações, monografias, artigos e apresentações em eventos e a grande contribuição para capacitação de pessoas com mais 40 pessoas na equipe, garantiu a continuidade dos estudos através de recursos ANEEL/Cemig, em uma segunda fase, 2013 a 2015.

Este livro é mais um notável produto resultante da parceria formada entre o Programa Peixe Vivo e Centros de Pesquisa, com esforços e marcante desempenho da equipe multidisciplinar do projeto. As informações aqui apresentadas estão alinhadas aos princípios norteadores do Programa, cujos objetivos e estratégias de conservação ambiental adotados devem ser cientificamente defensáveis e, a transparência com divulgação das informações geradas para a sociedade deve ser um compromisso dos envolvidos. Seus capítulos trazem o que há de mais inovador metodologicamente sobre desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica para a

região Neotropical, com uma grande contribuição para o estado do conhecimento da conservação de importantes bacias hidrográficas de Minas Gerais. Acreditamos que o seu conteúdo despertará o interesse de estudantes, pesquisadores, analistas e gestores ambientais no que pode se tornar uma importante ferramenta no gerenciamento da qualidade ambiental de reservatórios e bacias hidrográficas no Brasil.

Enio Marcus Brandão Fonseca
Superintendente de Gestão Ambiental da Geração e Transmissão da Cemig

Newton José Schmidt Prado
Gerente de Estudos e Manejo da Ictiofauna e Programas Especiais

Raquel Coelho Loures Fontes
Coordenadora do Programa Peixe Vivo

PREFÁCIO

No seu livro “Colapso”, Jared Diamond discute o porquê do colapso de algumas civilizações. De acordo com o autor, um denominador comum a muitas das civilizações que colapsaram foi o uso insustentado dos recursos naturais. A insustentabilidade é devido, em grande medida, à nossa ignorância acerca do mundo que nos rodeia e que obriga a conciliar o desejado bem-estar de um mundo moderno e o progresso com a preservação desse mesmo mundo para as gerações futuras.

Se as ações humanas provocam alterações no nosso ambiente, é fundamental documentar e conhecer essas alterações e conhecer as suas implicações para a biodiversidade, para os processos ecológicos que mantêm o funcionamento dos sistemas, assim como quantificar em termos econômicos os serviços prestados pelos ecossistemas às sociedades humanas.

A compreensão desta relação entre o ambiente e as atividades humanas tem sido liderada principalmente pelo mundo acadêmico. No entanto, algumas empresas têm elas próprias tomado nas suas mãos a responsabilidade de conhecer o meio onde elas exercem as suas atividades, os efeitos das suas próprias atividades e têm decidido monitorar alterações nos ecossistemas. O que para uns poderia ser um contrassenso (o que não é conhecido não existe), para outros é uma necessidade conhecer os ecossistemas e de saber as consequências da sua gestão, de forma a evitar, minimizar e/ou mitigar os efeitos dessas ações. A Cemig é uma dessas empresas.

O programa de monitoramento e de avaliação da qualidade de ambiente em rios em empreendimentos hidrelétricos apoiado pela Cemig é uma iniciativa que exige uma abordagem multidisciplinar agregando um conjunto grande de investigadores de várias universidades de Minas Gerais e de outros estados brasileiros. Nesta parceria estão envolvidos especialistas em várias áreas do saber, desde ictiólogos, fitólogos, especialistas em invertebrados, geógrafos e muitos outros. As equipes de trabalho estabeleceram parcerias com especialistas internacionais de instituições de referência. Tal é o caso da Universidade Estadual do Oregon e da Environmental Protection Agency, ambas dos Estados Unidos. Para além destas parcerias principais, foram estabelecidas outras com cientistas de Espanha e Portugal.

A rede de amostragem é ímpar e os dados gerados permitiram estabelecer rela-

ções entre parâmetros ambientais e a estrutura das comunidades de vários grupos taxonômicos. Estes trabalhos já geraram um grande número de publicações científicas, muitas das quais em jornais internacionais, foram matéria para mestrados, doutorados e Pós-doutorados e geraram uma quantidade de dados impressionante que, quando devidamente colocadas em bases de dados, poderão fornecer informação sobre a distribuição de espécies e a sua vulnerabilidade. Podem ainda ser identificados bioindicadores de condições ambientais prevaletentes e hábitos de vida de espécies.

Estas bases de dados podem igualmente servir para conhecer como as comunidades respondem a situações de alterações globais de clima, uso de solo, perda de biodiversidade e aumento de nutrientes. O conhecimento sobre os efeitos de alterações globais poderá ser analisado seguindo a estratégia das “condições de referência” (*reference condition approach*), usada na sua forma inversa. Ou seja, tomando as condições atuais como referência com as quais os desvios podem ser expressos de forma quantitativa / probabilística. Estes desvios podem ser consequência de uma deterioração ainda maior das condições atuais ou podem ser melhorias devidas a uma gestão mais sustentável das atividades humanas (por exemplo, a generalização na construção de estações de tratamentos de águas residuais, alterações na largura das zonas ripárias).

No entanto, a coleta de informação sobre as condições bióticas e abióticas deverá ser sempre padronizada. Foi precisamente esta padronização que os grupos de trabalho fizeram com a elaboração de protocolos testados às condições naturais da sua área de atuação.

O presente livro conta uma história. Como surgiu a ideia de fazer uma avaliação de qualidade ambiental em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos, como foi planejado o trabalho, quais os principais desafios e resultados e ainda quais os planos para o futuro. A Cemig e os investigadores que têm trabalhado neste projeto prestam um grande serviço à ciência e ao ambiente. Esta é a sua história.

Manuel A.S. Graça
Coimbra, 22 de dezembro de 2013

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 1

BENEFÍCIOS DE COLABORAÇÕES INTERNACIONAIS

ROBERT M. HUGHES & PHILIP R. KAUFMANN¹

¹Tradução Carlos Bernardo Mascarenhas Alves.

Neste pequeno texto, nós compartilhamos o que aprendemos ao trabalhar com nossos colegas brasileiros e como essas experiências foram transmitidas de forma mais ampla. Estas lições incluíam aprender sobre ecossistemas tão diferentes; o valor para a US-EPA de testar protocolos de monitoramento nesses ecossistemas, aplicando as lições do projeto Cemig para investigações semelhantes em outros continentes e em outras partes do Brasil; as vantagens da pesquisa acadêmica em equipe; benefícios da pesquisa patrocinada por empresas e bolsas estudantis federais; comunicações para o público em geral, a rede de pesquisa desenvolvida a partir de nosso trabalho no Brasil, e vivenciar a cultura brasileira.

1 – PESQUISA EM ECOSSISTEMAS TROPICAIS

Apesar de nós dois já termos morado e trabalhado em ecossistemas tropicais e subtropicais, não tivemos a oportunidade de realizar trabalhos de campo nesses sistemas ou de preparar manuscritos sobre o que havíamos aprendido sobre eles. Encontramos locais de referência [*reference sites*] no Brasil que eram menos perturbados pelo homem do que aqueles que normalmente são encontrados por todos os EUA, exceto para aqueles em áreas desabitadas dos EUA e parques nacionais. As comunidades bióticas aquáticas que habitam esses locais e outros geralmente pareciam estar mais intactas do que aquelas que encontramos nos EUA. No entanto, na escala local, encontramos o mesmo número de táxons nesses córregos como em muitos locais dos EUA, com grande parte da diversidade ocorrendo entre *sites*. E que a diversidade entre locais é maior do que esta em todos os outros exceto nas regiões bióticas mais ricas dos EUA. Outras diferenças que nos chamaram atenção foram a menor quantidade de restos de madeira (troncos) e a maior quantidade de folhas nesses riachos de mata do que encontramos em riachos florestais nos EUA, bem como uma maior tolerância dos peixes à remoção de mata ciliar. Assim, apesar das muitas semelhanças com córregos subtropicais e temperados, há também diferenças ecológicas que são importantes de compreender para conservar e reabilitar os riachos brasileiros.

Embora o desenvolvimento econômico tenha ocorrido mais tarde no Brasil do que nos EUA ou na Europa, o recente desenvolvimento rápido de hidrossistemas¹ brasileiros, agricultura, urbanização e mineração no Brasil agora estão ameaçando seriamente os ecossistemas, a economia sustentável, bem como a qualidade da vida humana. Assim, é extremamente importante para o Brasil agir rapidamente para proteger os ecossistemas

¹ Hidrossistemas, no sentido de rios utilizados pelo homem e seus reservatórios, outros represamentos, canalizações, retiradas de água (outorgas), etc.

terrestres e aquáticos, evitando a destruição massiva dos ecossistemas e extinção de espécies generalizadas, que o crescimento da população e o desenvolvimento econômico produziram em outros lugares (Limburg et al., 2011).

2 – TESTE DO PROTOCOLO DA US-EPA

Um objetivo básico de todas as ciências ecológicas é alcançar leis globais, teorias e generalizações. Para tal, é essencial ser capaz de amostrar ecossistemas de uma forma globalmente consistente ou comparável. Portanto, tem sido de grande valor para a US-EPA, bem como para a ciência de ecossistemas aquáticos, aplicar essencialmente os mesmos protocolos de campo em rios e reservatórios brasileiros como nós usamos em córregos, lagos e reservatórios nos EUA. Na verdade, os protocolos completos da US-EPA tanto para córregos quanto reservatórios (além das amostragens de peixes) foram implementados pela primeira vez no Brasil nesse projeto da Cemig. Ficamos muito bem impressionados com a rapidez e com o cuidado que esses protocolos de campo foram traduzidos, assimilados e implementados por estudantes, que não tiveram nenhuma experiência prévia com esses métodos, bem como a forma cautelosa que os protocolos foram modificados quando necessário. A aplicabilidade dos protocolos de campo da US-EPA no Brasil e em outros países também levou a uma melhor aceitação por agências estaduais dentro dos EUA. Nós muitas vezes afirmamos que, se quatro estudantes brasileiros poderiam amostrar riachos sob condições tropicais muito adversas, uma equipe de servidores públicos americanos deveriam ser capazes de fazê-lo também.

O fato de que pudéssemos aplicar os protocolos de campo da US-EPA em riachos do ecossistema do Cerrado nos deu confiança de que poderíamos fazer o mesmo no leste da Amazônia e córregos do nordeste da China. Depois de apresentar a cientistas seniores e estudantes os nossos resultados no Cerrado, eles se tornaram muito mais dispostos a implementar nossos protocolos e, eventualmente, publicar seus resultados, do que se tivéssemos mostrado a eles somente os resultados americanos (Gardner et al., 2013; Chen et al., 2014; Li et al., 2014).

3 – EQUIPE DE PESQUISA ACADÊMICA

Na maior parte de nossas carreiras de pesquisa, trabalhamos em um laboratório da US-EPA como contratados, bolsistas universitários ou funcionários federais em uma equipe interdisciplinar de pesquisa. À medida que entramos mais no Antropoceno, se torna cada vez mais necessário colaborar nas disciplinas e jurisdições políticas se quisermos fazer a nossa investigação política e socialmente, bem como cientificamente útil. Em outras palavras, devemos pensar e agir local e globalmente (ou regionalmente), se a nossa ciência é para ser globalmente (ou regionalmente) aplicável. Sempre que possível, esta abordagem de colaboração em equipe deve ser implementada com nossos estudantes de Pós-graduação e de graduação, para que eles aprendam as habilidades de compartilhar em equipe e os dados, desde o início de suas carreiras.

Ficamos muito favoravelmente impressionados com tais abordagens de equipe entre os professores e estudantes de graduação e Pós-graduação de diferentes universidades que temos trabalhado no Brasil (p.ex. Pinto et al., 2009; Oliveira et al., 2011; Gardner et al., 2013; Ligeiro et al., 2013; Terra et al., 2013; Macedo et al., 2014). Especialmente, nós apreciamos observar como os estudantes brasileiros colaboraram no trabalho de campo, compartilhando e analisando dados, e na preparação de manuscritos, exemplificando um espírito de equipe contra um espírito competitivo. Os projetos Cemig e RAS (Rede Amazônia Sustentável) permitiram aos alunos realizar projetos de pesquisa muito mais complexos e extensos do que qualquer estudante ou pesquisador principal poderia alcançar sozinho. E esses projetos parecem estar levando a mudanças institucionais no Brasil. Observamos, também, esta abordagem de parceria entre os estudantes de Pós-graduação na Áustria (Trautwein et al., 2012; Schinegger et al., 2012), Bolívia (Ibanez et al., 2009; Moya et al., 2011), China (Chen et al., 2014; Li et al., 2014), França (Marzin et al., 2012) e Portugal (Oliveira et al., 2009; Segurado et al., 2011). Talvez pesquisadores universitários no Brasil e nesses outros países estejam mais dispostos a experimentar e tentar novas abordagens do que as agências governamentais nos mesmos países.

4 – FINANCIAMENTO DE PESQUISAS

Nos EUA, não temos observado ou participado de pesquisas financiadas por uma empresa como a Cemig. Assim, esta tem sido uma experiência para abrir os olhos, e estamos positivamente impressionados com o financiamento da pesquisa e com a liberdade permitida pela Cemig. Da mesma forma, a existência e o acesso a várias áreas de pesquisa em campo, com apoio das empresas e abertos às universidades, oferece oportunidades indisponíveis a estudantes universitários americanos.

Em maior dimensão do que nos EUA, o governo brasileiro financia bolsas de estudo de estudantes universitários e estudos de pós-doutorado fora do Brasil via CAPES/CNPq e através do programa Ciência sem Fronteiras. Nos EUA, poucos alunos de ecologia são financiados para estudar no exterior e muitos têm de tomar empréstimos substanciais para financiar seus estudos. Educação em universidades de pesquisa traz benefícios positivos, como alunos que desenvolvem suas próprias carreiras de pesquisa em outras instituições.

Ambos, Projeto Manuelzão e projeto Cemig, apoiam as publicações elaboradas para comunicar com o público em geral (por exemplo, Macedo et al., 2012). Isto é muito importante, pelo menos, por duas razões: 1) como contribuintes o público tem o direito de saber como que parte dos seus impostos está sendo gasto, e 2) essas publicações são um excelente meio de educar o público sobre ecologia aquática e conservação. Nós dois ainda nos lembramos de uma circunstância em um café em Belo Horizonte onde nos foi dito que não teríamos que pagar por um lanche porque estávamos vestindo camisetas do Manuelzão. Como as mídias sociais, como o Facebook e os blogs, se tornam mais comuns, se tornará cada vez mais útil usar essas vias de comunicação também.

5 – REDE DE PESQUISAS

É extremamente importante a publicação de resultados de pesquisa e apresentá-los em reuniões – na verdade, não fazê-lo significa que a investigação está incompleta. Nós nos tornamos envolvidos com o projeto Cemig porque nós dois apresentamos os resultados de pesquisa em um minicurso e um simpósio no Encontro Brasileiro de Ictiologia, em 2001 em São Leopoldo, onde conhecemos Carlos B. M. Alves e aprendemos sobre o Projeto Manuelzão. Em 2003, vários de nós nos encontramos novamente na reunião de Manaus

da Sociedade Americana de Ictiólogos e Herpetólogos² e novamente em Belo Horizonte. Essas reuniões levaram a apresentações posteriores e minicursos na UFMG, UFLA e PUC-Minas em 2007 e 2009, o início do projeto Cemig em 2009, bolsa Fulbright-Brasil em 2007 e 2010, e o workshop Brasil-EUA, em Corvallis em 2011. Os minicursos também levaram ao trabalho colaborativo, no Rio de Janeiro (Pinto et al., 2006, 2009; Oliveira et al., 2011; Terra et al., 2013a, 2013b), Pará (Gardner et al., 2013.), Europa (Oliveira et al., 2009; Segurado et al., 2011) e Bolívia (Ibanez et al., 2009; Moya et al., 2011).

6 – CULTURA BRASILEIRA

Mas não é só a pesquisa ecológica e os atuais esforços e planos para publicação em periódicos que continuaram a nos engajar no Projeto Cemig. Ficamos impressionados com a capacidade dos líderes da equipe de pesquisa para planejar com antecedência para contingências que inevitavelmente acontecem (Planos B, C, etc.). Uma característica igualmente interessante é a capacidade de improvisar quando um equipamento falha ou não funciona corretamente (“jeitinho brasileiro”). Ainda mais agradável foram as pessoas do projeto – elas se tornaram como uma família na medida em que nós compartilhamos os desafios, decepções e alegrias da nossa pesquisa e de nossas vidas pessoais. Além de nossos colegas e amigos brasileiros, desfrutamos a comida brasileira, música, dança, festas e aventuras, e a satisfação de nos divertir e trabalhar com essas pessoas quando foram nos visitar nos EUA. Esta atmosfera de samba faz com que os riscos do trabalho de campo e os desafios das publicações em periódicos se tornem divertidos.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, K.; HUGHES, R.M.; XU, S.; ZHANG, J.; CAI, D. & WANG, B. Evaluating performance of macroinvertebrate-based predictive and null modeled multimetric indices (MMI) using multi-season and multi-year samples. *Ecological Indicators*, v.36, p. 142-151, 2014.

GARDNER, T. & 86 co-authors. A social and ecological assessment of tropical land uses at multiple scales: the Sustainable Amazon Network. *Philosophical Transactions of the Royal Society of Britain B (Biological Sciences)* 368:20120666, 2013.

² American Society of Ichthyologists and Herpetologists (ASIH)

- IBAÑEZ, C.; BELLIARD, J.; HUGHES, R.M.; IRZ, P.; KAMDEM-TOHAM, A.; LAMOUREUX, N.; TEDESCO, P.A. & OBERDORFF, T. Convergence of temperate and tropical stream fish assemblages. *Ecography*, v.32, p.658-670, 2009.
- LI, L.; LIU, L.; HUGHES, R.M.; CAO, Y. & WANG, X. Towards a protocol for stream macroinvertebrate sampling in China. *Environmental Monitoring & Assessment*, v.186, n.1, p. 469-479, 2014
- LIGEIRO, R.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; MACEDO, D.R.; FIRMIANO, K.R.; FERREIRA, W.R.; OLIVEIRA, D.; MELO, A.S. & CALLISTO, M. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. *Ecological Indicators*, v.25, p.45-57, 2013.
- LIMBURG, K.E.; HUGHES, R.M.; JACKSON, D.C. & CZECH, B. Population increase, economic growth, and fish conservation: collision course or savvy stewardship? *Fisheries*, v.36, p.27-35, 2011.
- MACEDO, D.R.; HUGHES, R.M.; LIGEIRO, R.; FERREIRA, W.R.; CASTRO, M.; JUNQUEIRA, N.T.; SILVA, D.R.O.; FIRMIANO, K.R.; KAUFMANN, P.R.; POMPEU, P.S. & CALLISTO, M. The relative influence of multiple spatial scale environmental predictors on fish and macroinvertebrate assemblage richness in cerrado ecoregion streams, Brazil. *Landscape Ecology*. v.29, p.1001-1016, 2014.
- MACEDO, D.R.; LIGEIRO, R.; FERREIRA, W.R.; JUNQUEIRA, N.T.; SANCHES, B.O.; SILVA, D.R.O.; ALVES, C.B.M.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; POMPEU, P.S.; SANTOS, G.B. & CALLISTO, M. Adaptação e validação de um protocolo de avaliação biológica e de habitats físicos no estudo de assembléias de peixes e macroinvertebrados bentônicos em bacias hidrográficas no cerrado brasileiro. *Ação Ambiental*, v.47, n.13, p.15-18, 2012.
- MARZIN, A.; ARCHAIMBAULT, V.; BELLIARD, J.; CHAUVIN, C.; DELMAS, F. & PONT, D. Ecological assessment of running waters: do macrophytes, macroinvertebrates, diatoms and fish show similar responses to human pressures? *Ecological Indicators*, v.23, p.56-65, 2012.

- MOYA, N.; HUGHES, R.M.; DOMINGUEZ, E.; GIBON, F.M.; GOITA, E. & OBERDORFF, T. Macroinvertebrate-based multimetric predictive models for measuring the biotic condition of Bolivian streams. *Ecological Indicators*, v.11, p.840-847, 2011.
- OLIVEIRA, R.B.S.; MUGNAI, R.; CASTRO, C.M.; BAPTISTA, D.F. & HUGHES, R.M. Towards a rapid bioassessment protocol for wadeable streams in Brazil: development of a multimetric index based on benthic macroinvertebrates. *Ecological Indicators*, v.11, p.1584-1593, 2011.
- OLIVEIRA, J.M.; HUGHES, R.M.; FERREIRA, M.T.; TEIXEIRA, A.; MORGADO, P.; CORTES, R.M. & BOCHECHAS, J.H. A preliminary fishery quality index for Portuguese streams. *North American Journal of Fisheries Management*, v.29, p.1466-1478, 2009.
- PINTO, B.C.T.; ARAÚJO, F.G.; RODRIGUEZ, V.D. & HUGHES, R.M. Local and ecoregion effects on fish assemblage structure in tributaries of the Rio Paraíba do Sul, Brazil. *Freshwater Biology*, v.54, p.2600-2615, 2009.
- SCHINEGGER, R.; TRAUTWEIN, C.; MELCHER, A. & SCHMUTZ, S. Multiple human pressures and their spatial patterns in European running waters. *Water and Environment Journal*, v.26, p.261-273, 2012.
- SEGURADO, P.; SANTOS, J.M.; PONT, D.; MELCHER, A.; GARCIA JALON, D.; HUGHES, R.M. & FERREIRA, M.T. Estimating species tolerance to human perturbation: expert judgment versus quantitative approaches. *Ecological Indicators*, v.11, p.1623-1635, 2011.
- TERRA, B.D.F.; HUGHES, R.M.; FRANCELINO, M.R. & ARAÚJO, F.G. Assessment of biotic condition of Atlantic Rain Forest streams: a fish-based multimetric approach. *Ecological Indicators*, v.34, p.136-148, 2013a.
- TERRA, B.F.; HUGHES, R.M. & ARAUJO, F.G. Sampling sufficiency for fish assemblage surveys of Tropical Atlantic Forest streams, southeastern Brazil. *Fisheries*, v. 38, n. 4, p. 150-158, 2013b.
- TRAUTWEIN, C.; SCHINEGGER, R. & SCHMUTZ, S. Cumulative effects of land use on fish metrics in different types of running waters in Austria. *Aquatic Sciences*, v.74, p.329-341, 2012.

SÉRIE PEIXE VIVO

.....

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 2

REDE DE PESQUISAS DO PROJETO IBI-CEMIG: IDEALIZAÇÃO, IMPLANTAÇÃO, PLANEJAMENTO, LOGÍSTICA, APOIOS, INTEGRAÇÃO E GESTÃO

MARCOS CALLISTO,
CARLOS BERNARDO M. ALVES,
PAULO S. POMPEU, JOÃO DE MAGALHÃES LOPES,
NEWTON JOSÉ SCHMIDT PRADO,
JULIANA SILVA FRANÇA, RENATA FERREIRA DE FREITAS,
ISABELA ROCHA NUNES DE LIMA & MARIANA CONRADO

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. Rede de pesquisas do Projeto IBI-CEMIG: 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, v. 1, p. 31-46, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – MOTIVAÇÃO DA CEMIG

A Cemig Geração e Transmissão (Cemig GT) atua no setor de energia elétrica tendo como principal foco a geração hidrelétrica com a operação de 60 usinas hidrelétricas (em 2014), a maioria localizada no estado de Minas Gerais. Com um número tão grande de usinas, a empresa possui empreendimentos em virtualmente todas as bacias hidrográficas do estado, o que constitui um grande desafio para a gestão de programas ambientais que visem mitigar os impactos ao meio ambiente advindos da implantação de hidrelétricas.

Alguns dos principais impactos ambientais resultantes da instalação de usinas hidrelétricas incidem sobre os peixes existentes no rio barrado. Estes impactos são particularmente graves sobre espécies migradoras que possuem diferentes requisitos ambientais para completar o seu ciclo de vida. O barramento de determinado rio pode ocasionar a segregação de populações de peixes existentes na região, além da separação de áreas específicas essenciais para a manutenção das espécies tais como pontos de desova, áreas de crescimento de alevinos e sítios de alimentação. É preciso ressaltar também que diversas outras espécies, além das migradoras, podem ter suas populações afetadas pela formação do reservatório que é um ambiente totalmente novo e pouco atrativo para boa parte dos peixes ali existentes.

O planejamento e execução de programas ambientais pela Cemig GT para a conservação da ictiofauna nativa remontam há algumas décadas. O primeiro programa desenvolvido por boa parte das concessionárias de energia hidrelétrica foi o programa de estocagem de peixes que, no caso da Cemig GT, se iniciou com a construção da Estação de Piscicultura de Volta Grande em 1974. A execução desses programas teve fundamental importância para o desenvolvimento do conhecimento dos mecanismos reprodutivos de nossas espécies de peixes nativas, criando condições para a produção em massa de alevinos destas espécies, ainda soltos atualmente em boa parte dos reservatórios do sudeste brasileiro. Com a evolução do conhecimento científico acerca da ecologia das espécies de peixes migradores, diversos questionamentos surgiram sobre a eficácia destes programas de estocagem para a conservação da ictiofauna nativa, sendo necessário que novas estratégias e abordagens científicas fossem adotadas para se avaliar a questão.

Dentro da Cemig GT iniciamos discussões internas, em parceria com outras concessionárias, ainda na década de 1990, sendo que estas discussões se intensificaram sensivelmente na década seguinte com a divulgação de diversos trabalhos internacionais que

mostravam uma estreita relação entre o sucesso de programas de estocagem do salmão com a qualidade ambiental dos ambientes receptores. Em 2007, técnicos da empresa participaram de seminário organizado pela Universidade Federal de Minas Gerais e pelo Projeto Manuelzão de revitalização do Rio das Velhas (MG), que tinha o biomonitoramento e a utilização de Índices de Integridade Biótica (IBI) como temas. Naquela oportunidade, pesquisadores internacionais foram convidados para apresentar as experiências desenvolvidas, em especial nos Estados Unidos, onde o índice já era utilizado há algumas décadas como um indicador da saúde de habitats riverinos por todo o país.

A implantação de um projeto que buscasse adaptar a metodologia desenvolvida nos Estados Unidos para a realidade brasileira se tornou uma prioridade para a empresa. Vislumbramos naquela época a potencialidade que a metodologia apresentava na melhoria da capacidade de gestão de programas ambientais desenvolvidos em bacias hidrográficas impactadas por usinas da empresa. Tínhamos especial interesse na utilização das informações obtidas na melhoria de nosso programa de estocagem de peixes nativos, utilizando áreas de melhor integridade ambiental para a estocagem e, dessa forma, permitindo aos alevinos soltos melhores oportunidades de sobrevivência e integração às populações selvagens. Com a criação do Programa Peixe Vivo em 2007, elencamos a construção de Índices de Integridade Biótica para bacias do estado de Minas Gerais como uma de nossas prioridades e fechamos em 2009 a parceria para o desenvolvimento do projeto com as Universidades Federais de Minas Gerais e de Lavras, com a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e com o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, além da Universidade Estadual do Oregon e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, ligadas ao projeto através dos centros de pesquisa mineiros.

Durante o desenvolvimento do projeto, no entanto, pudemos perceber que as suas potencialidades vão muito além da imaginada inicialmente. As informações geradas pelo projeto IBI podem ser utilizadas não só para uma melhor gestão do programa de estocagem de peixes pela empresa, mas também pelos programas de implantação de matas ciliares, avaliação da qualidade de água e também em programas que visem o controle de erosão e assoreamento nas bacias hidrográficas formadoras de reservatórios. As avaliações realizadas nos riachos formadores e também na região litorânea dos próprios reservatórios trazem dados e análises essenciais para a melhoria dos programas ambientais implantados. Hoje nos parece prioritário que uma rede de colaboração seja formada entre as demais concessionárias de geração hidrelétrica atuantes em Minas Gerais com a participação de órgãos

de gestão e fiscalização ambiental estaduais, para que a avaliação de integridade biótica seja parte integrante dos processos de monitoramento de qualidade dos recursos hídricos do estado. A inclusão de diversas outras métricas ambientais de maneira sistemática nas análises já realizadas atualmente pode trazer grandes ganhos para a gestão ambiental realizada em Minas Gerais, incorporando novos indicadores e com a implementação de um método mais abrangente de avaliação de impactos sobre os recursos hídricos estaduais. Acreditamos que a iniciativa pioneira da empresa para a realização de um projeto desta natureza no estado de Minas Gerais renderá frutos importantes para nossa sociedade, em um futuro próximo, ao permitir a utilização de uma ferramenta de gestão baseada em nossas próprias experiências e na rica biodiversidade para incrementarmos o status de conservação dos ecossistemas aquáticos que temos o privilégio de usufruir, mas também a responsabilidade de preservar.

2 – ETAPAS INICIAIS DE CONTATO COM OS PARCEIROS NORTE-AMERICANOS, A CONSTRUÇÃO DA PARCERIA DAS UNIVERSIDADES COM A CEMIG

Em 1999, alguns anos após a criação do Projeto Manuelzão (PMz) da UFMG, os biólogos Paulo dos Santos Pompeu e Carlos Bernardo Mascarenhas Alves foram chamados a desenvolver as pesquisas sobre a ictiofauna no rio das Velhas. O objetivo inicial era realizar o inventário atualizado e avaliar a possibilidade de retorno dos peixes após o tratamento dos esgotos lançados na bacia. Tivemos a oportunidade de acompanhar as alterações da fauna de peixes desta bacia, em decorrência das diversas atividades de mobilização e cidadania implantadas pelo PMz e, desde o começo, ficou clara a necessidade de mudarmos o enfoque para a integridade biótica dos diferentes ambientes da bacia.

Em 2001, durante o Encontro Brasileiro de Ictiologia, os doutores Bob Hughes e Phil Kaufmann vieram ministrar o minicurso *Assessing the associations among fish, habitat, and land-use on a regional scale* [Avaliando as associações entre peixes, habitat e do uso da terra em escala regional] e as palestras *Tropical and subtropical adaptations of an index of fish assemblage integrity* [Adaptações tropicais e subtropicais de um índice de integridade de uma assembleia de peixes] e *Examining Associations Between Fish Assemblages and Physical Habitat* [Examinando associações entre assembleias de peixes e habitat físico].

Nessa ocasião foi estabelecido o primeiro contato para tentar uma parceria com esses

pesquisadores, ligados à Universidade Estadual do Oregon (OSU) e Agência Ambiental Americana (US-EPA), respectivamente. A ideia era de adaptar e aplicar no Brasil, país tropical, os protocolos amplamente difundidos na América do Norte para avaliações ambientais, dentro da abordagem da Integridade Biótica.

Paralelamente ao trabalho de biomonitoramento de peixes no rio das Velhas, convidamos a equipe do Laboratório de Ecologia de Bentos (LEB) do ICB/UFMG para ampliar a abordagem dos estudos com parâmetros de qualidade de água e invertebrados aquáticos. Essa parceria frutificou, com a obtenção de importantes informações sobre qualidade ambiental na bacia e a formação de pessoal, envolvendo pesquisadores, doutorandos, mestrandos, biólogos e estudantes de iniciação científica. Esta parceria (PMz/LEB) deu origem ao NuVelhas (Núcleo Transdisciplinar e Transinstitucional para Revitalização da Bacia do rio das Velhas). Diversos ambientes foram estudados (calha do rio das Velhas, riachos, afluentes, córregos urbanos, lagoas marginais) em áreas contemplando um gradiente entre severa poluição e condições de referência.

Após centenas de e-mails trocados, videoconferências e uma visita do Dr. Bob Hughes a Minas Gerais, a ideia de desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica (IBI, sigla em inglês) passou a se tornar uma realidade próxima. Enquanto buscávamos financiamento para implantar essa abordagem nas bacias dos rios das Velhas e São Francisco, a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) em um de nossos seminários de divulgação se interessou pela aplicação dessa tecnologia nas bacias de drenagem de seus reservatórios.

Foi assim que se firmou o convênio que envolveu 4 instituições de Minas Gerais, duas instituições norte-americanas (OSU e US-EPA) e dezenas de estudantes, profissionais e professores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas) e o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), com aporte financeiro do Programa Peixe Vivo da Cemig.

Dentro desse projeto¹ foram escolhidas 4 áreas para estudo: as bacias dos reservatórios de Nova Ponte (rio Araguari), Três Marias (rio São Francisco), Volta Grande (rio Grande) e São Simão (rio Paranaíba). Em cada um dos empreendimentos foram escolhidos 40 pontos em riachos afluentes e outros 40 pontos na orla do reservatório, totalizando 320 pontos de amostragem, um esforço raramente encontrado em trabalhos de pesquisa no Brasil.

¹ *Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica para Avaliação de Qualidade Ambiental e Subsídio Para a Restauração de Habitats em Áreas de Soltura de Alevinos.*

A nova abordagem amplia a avaliação ambiental, antes limitada à coleta de parâmetros da água, invertebrados e peixes, com interpretações na escala regional (uso e ocupação do solo, presença de áreas urbanas, de agricultura, pastagens, reflorestamento) e local (vegetação ciliar, morfologia do canal, aspectos hidráulicos, habitats físicos para os grupos biológicos, substrato, etc.).

As adaptações propostas nos referidos protocolos americanos, já traduzidos para a língua portuguesa, poderão ser aplicadas em outras bacias hidrográficas brasileiras por universidades, centros de pesquisa, órgãos gestores estaduais e federais, comitês de bacia, etc., para padronização e unificação de metodologias que tornem comparáveis as informações geradas no licenciamento ambiental, monitoramento e pesquisa científica.

Os avanços obtidos nos 5 primeiros anos de projeto certamente marcarão época no uso da metodologia de Integridade Biótica no Brasil, com as defesas de Teses, Dissertações e Monografias, além da publicação de artigos científicos e de divulgação. Esses documentos envolvem análises de uso e ocupação do solo, qualidade de água, habitats físicos, macroinvertebrados bentônicos e peixes. Outro fruto dessa profícua parceria foi o manifesto interesse da Cemig em renovar os convênios através de editais da FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) e de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D t²/Cemig), fato que já se concretizou em 2013.

3 – A GESTÃO DO PROJETO IBI-CEMIG EM TERMOS DE PLANEJAMENTO, LOGÍSTICA, INTEGRAÇÃO QUE VIABILIZARAM A REALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES EM CÂMPO E LABORATÓRIO

Para o desenvolvimento das atividades em campo e laboratório neste projeto, uma série de ações de planejamento, gestão e logística foram necessárias, incluindo articulação das equipes, organização e aquisição de materiais e serviços para as atividades, gestão e organização de eventos com envolvimento da comunidade acadêmica e das bacias dos empreendimentos hidrelétricos estudados, treinamentos e oferta de disciplinas com estudantes de Pós-graduação. Além destas, houve esforços para viabilizar a aquisição de passagens aéreas e acomodação de parceiros internacionais para as atividades de treinamento, palestras e workshops, reuniões técnicas e análises de dados.

Os coordenadores das equipes das universidades envolvidas (UFMG, UFLA, PUC-Minas

² ANEEL = Agência Nacional de Energia Elétrica.

e CEFET-MG) participaram de reuniões periódicas para o planejamento das ações. Dentro de cada equipe, estudantes e profissionais de vários níveis acadêmicos envolveram-se na organização de materiais e procedimentos para as atividades em campo e laboratório durante toda a vigência do projeto. Desde o início a articulação das equipes em cada instituição brasileira e americana permitiu a definição harmoniosa de responsabilidades e competências. Nas instituições brasileiras definiram-se os pesquisadores associados, alunos de doutorado, mestrado e iniciação científica, técnicos, etc. Do lado americano, foi formalizado um Acordo de Cooperação Acadêmica com os parceiros entre a UFMG (Instituição coordenadora) e a Oregon State University (OSU).

O material de campo e laboratório a ser utilizado envolveu um grande número de itens e detalhes específicos que só foram determinados após detalhamento da metodologia e conhecimento dos protocolos a serem aplicados (lista detalhada no Capítulo 11). Parte dos equipamentos e materiais utilizados na avaliação de habitats físicos foi importada dos EUA. Para tal, foi necessária especificação completa, cotação e solicitação à Gerência de Importação da Fundep, instituição credenciada junto ao CNPq, no âmbito da Lei Federal nº 8.010/90, que dispõe sobre a isenção de impostos aos produtos destinados à pesquisa científica e tecnológica. Portanto, a parceria e gestão pela Fundep permitiram viabilizar compras internacionais com agilidade, qualidade e economia, pontos importantes no que diz respeito à aquisição de bens e materiais de consumo. Para a aquisição dos itens no mercado nacional também foi necessária especificação completa, cotação e solicitação à Gerência de Compras da Fundep. Para os itens disponíveis no mercado nacional foi possível agilizar o processo de compra e minimizar enganos contatando previamente fornecedores e negociando materiais prioritários e prazos máximos de entrega. Para o bom funcionamento da logística, a parceria com a Fundep possibilitou agilidade nas compras nacionais, associando qualidade e economia, aspectos importantes na gestão de um projeto de grande porte e com tantos pesquisadores envolvidos.

A primeira ação do projeto envolveu um treinamento conjunto das equipes executoras e financiadora na nova abordagem a ser utilizada no Projeto IBI-Cemig, que contou com a participação dos colegas norte-americanos. Em sua primeira visita, para participação no Workshop Biomonitoramento de Bacias Hidrográficas: Experiências e Metodologias, os parceiros norte-americanos ministraram o 1º curso teórico/prático para estudantes de Pós-graduação das universidades parceiras, com aulas teóricas na UFMG e prática na Serra do Cipó (novembro-dezembro/2007). A aquisição de passagens dependeu de ajustes

nas agendas, negociados a distância através de intensa troca de mensagens. A acomodação em hotel ou na Moradia Estudantil da UFMG (vaga conseguida junto à Pró-Reitoria de Pós-graduação), envolveu alunos e professores, para que os colegas norte-americanos não corressem riscos de segurança e/ou dificuldades de adaptação. Isso propiciou o contato com vários membros da equipe, estreitando relações pessoais e acadêmicas com esses profissionais internacionais. A segunda visita (início das atividades práticas com uso da metodologia IBI) ficou definida após a determinação de datas e chegada dos pesquisadores estrangeiros e, neste momento, a primeira reunião geral (setembro/2009) na qual foram estabelecidos o treinamento das equipes de campo e os materiais necessários para a execução da metodologia a ser adotada.

Antes da primeira coleta, e após curso teórico-prático realizado em Belo Horizonte (UFMG-setembro/2009) foi planejado treinamento e realização da primeira campanha de campo (setembro-outubro/2009). O treinamento ocorreu na Unidade Ambiental de Galheiro, contando com apoio da Cemig (proprietária da reserva) e do Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre-UFMG que sediou a disciplina/treinamento teórico. O planejamento envolveu acomodação (alojamento e barracas) para toda equipe (c. 40 pessoas), alimentação (contratada na região) e transporte. Depois da estadia/treinamento em Galheiro foram realizadas reservas em hotéis da região de entorno do reservatório de Nova Ponte, localizados estrategicamente nos polos centrais de várias estações amostrais, para evitar longos deslocamentos desnecessários. Além das caminhonetes dos laboratórios de Ecologia de Bentos (UFMG) e de Ecologia de Peixes (UFLA), foram alugados outros dois veículos 4x4, cabine dupla, capazes de acomodar 4 a 5 pessoas e material de coleta, de forma a compor 4 equipes de campo. Similarmente, para amostrar nas 40 estações por reservatório, cerca de 10-15 dias de coleta foram necessários.

Para a cobertura da equipe envolvida em trabalhos de campo foi contratada apólice de seguro de vida coletivo, envolvendo questões trabalhistas, de segurança e saúde. As viagens, deslocamentos por rodovias e estradas secundárias e terciárias em zona rural, atividades em mata e ambientes inóspitos, possibilidade de quedas e de ataques por animais peçonhentos impõem riscos inerentes que podem ser minimizados com a utilização de equipamentos de proteção individual de segurança, que não devem ser descartados e/ou desconsiderados.

O material para atividades de campo foi preparado pelas equipes de acordo com a especificidade de seu método. O grupo formado pelos Laboratórios Ecologia de Bentos/UFMG, Ecologia de Peixes/UFLA, Programa de Pós-graduação em Zoologia dos Ver-

tebrados/PUC-Minas apontou metodologias, gerou listas primárias e determinou uma lista geral de itens para todas as 4 equipes em campo (Capítulo 11). O material foi marcado e separado por cores para não haver mistura ou falhas em nenhuma das 4 equipes de campo, garantindo o mesmo número de materiais/equipamentos necessários à realização das atividades. Além de 4 caixas organizadoras completas, o material incluiu itens reserva para repor possíveis perdas durante o trabalho de campo. Além dos materiais específicos a cada parâmetro a ser avaliado, a preocupação com EPIs (equipamentos de proteção e segurança individual) é um importante fator que visa segurança e bom andamento das atividades de campo realizadas pelas equipes. Estes equipamentos envolvem, por exemplo, o uso de macacões de borracha e luvas, evitando o contato direto com águas poluídas; chapéu e protetor solar, minimizando exposição a raios UV; capas de chuva, para proteção e cantis para hidratação.

Em laboratório/escritório foram determinadas as diárias para manutenção das equipes em campo, considerando na logística, principalmente, hospedagem, alimentação e deslocamentos. Esse cálculo foi determinado com base no número de pessoas em campo, associado ao número de dias necessários e aos valores mínimos indispensáveis, chegando a um valor total acrescido de um percentual (10%) como reserva para cobertura de possíveis eventualidades.

Além de toda logística de gestão e organização, as Universidades, através de seus Programas de Pós-graduação (como por exemplo, PG em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre e Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG) e de outras instituições (UFLA, PUC-Minas, Fiocruz, UFRJ) ofereceram disciplinas envolvendo seus estudantes em treinamentos, associando o ensino e a pesquisa no âmbito deste projeto IBI-Cemig. Desta forma, toda a teoria envolvida no desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica foi apresentada, discutida e sedimentada entre professores, pesquisadores e estudantes das Universidades envolvidas. Além dos princípios envolvidos nas amostragens e nas análises de dados, as disciplinas envolveram atividades como leitura de artigos, interpretação de resultados, apresentações em eventos técnico-científicos e redação de manuscritos científicos, além de parte prática em campo. Para a parte de campo contamos com apoio de deslocamentos (van/ônibus com motorista) oferecidos pelas universidades, de parceiros como o Projeto Manuelzão e PG-ECMVS/UFMG.

O envolvimento da sociedade da área de influência dos empreendimentos foi certificado através da apresentação dos resultados obtidos em reuniões que envolveram a comunidade de entorno dos reservatórios estudados. Estas reuniões foram anuais, após análise dos

dados, e abrangeram estudantes na apresentação de trabalhos de conclusão de curso de graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado desenvolvidas dentro do projeto. Participaram empresas locais, funcionários da Cemig dos setores de meio ambiente e operação das usinas, membros de comitês de bacias regionais, pescadores profissionais, alunos de universidades na região e outros representantes da comunidade local. Estas reuniões foram importantes tanto no âmbito social – divulgação científica, como no âmbito educacional – treinamento de futuros profissionais.

Para um alcance maior da sociedade, envolvendo não só a comunidade local, mas um público mais amplo, incluindo a comunidade universitária, foram realizados eventos acadêmicos de médio porte (workshops) com apresentações de profissionais da área, de instituições renomadas, nacionais e internacionais, proporcionando discussões e propostas de adaptações de metodologias. Estes eventos enriqueceram o nível de discussões e as bases conceituais utilizados neste projeto de pesquisa em parceria Universidades-Cemig.

4 – GESTÃO DO PROJETO NA FUNDEP

Viabilizar a realização de projetos diversos, com uma gestão administrativo-financeira transparente, segura e inovadora. Essa é uma das premissas da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (Fundep). Criada em 1975, a Fundep é uma entidade de direito privado, devidamente reconhecida pelos Ministérios da Educação (MEC) e de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) como fundação de apoio, e tem a finalidade de apoiar atividades de pesquisa, ensino, extensão e desenvolvimento institucional da UFMG e de outros importantes centros de ensino e de pesquisa do país.

Com a sua atuação nos projetos, a Fundep vem contribuindo para transformar conhecimento em promoção da educação, saúde e cultura, em preservação do meio ambiente e em vários outros benefícios imensuráveis para a sociedade. É assim que a gestão do projeto IBI, em quase cinco anos de trabalho conjunto, permite que a Fundação se reconheça.

De grande relevância ecológica, social e científica, a iniciativa contou com o envolvimento de múltiplas instituições de ensino, do setor elétrico, de estudantes, professores e pesquisadores, exigindo, assim, a competência da Fundep em gerenciamento de projetos em rede. Na Fundação, a coordenação foi realizada, com dinamismo e exemplar organização, pelos professores Marcos Callisto (UFMG), Paulo Pompeu (UFLA) e Gilmar Santos (PUC-Minas).

Para a Fundep, atuar nesse projeto proporcionou a oportunidade de ampliar a expertise em gestão de projetos e de participar da mobilização de grandes grupos de pesquisa. Para isso, foram promovidas reuniões para apresentar os serviços, alinhar procedimentos e estreitar o vínculo com os coordenadores. A iniciativa em rede demandou intensa articulação com os diversos parceiros e acompanhamento sistemático de cada fase e meta de todas as equipes para integração e sintonia no desenvolvimento das atividades.

Entre as suas soluções em gestão de projetos, a Fundep conta com o Espaço do Coordenador, uma ferramenta de interface online entre a Fundação e seus parceiros, que permite ao pesquisador monitorar as iniciativas via web de qualquer lugar e a qualquer momento. Por meio do sistema, o usuário registra as solicitações, além de visualizar e gerar relatórios detalhados sobre a situação financeira de seus projetos. A ferramenta favorece um atendimento de alta qualidade, alinhado às necessidades dos parceiros e em conformidade com as exigências legais e as normas estabelecidas pelos órgãos financiadores.

Para a gestão do projeto IBI foram criados subprojetos – segmentados em etapas – para cada coordenador. Desse modo, os pesquisadores conseguiam monitorar, pelo sistema, o gerenciamento específico de cada etapa e, assim, acompanhar o andamento, as movimentações e solicitações de seus grupos.

De materiais básicos de consumo a um veículo automotivo. Para a viabilização do projeto, a Fundep efetivou centenas de aquisições nacionais de bens e serviços e importações de equipamentos, como microscópios. Outro fator de destaque foi a gestão de pessoal e da logística, visto que as equipes realizaram intenso trabalho de campo nas cidades mineiras e nos estados de São Paulo (Volta Grande) e Goiás (São Simão). A pesquisa *in loco* é condicionada a fatores climáticos e ambientais, que podem causar cancelamentos repentinos e solicitações de urgências. Nesse sentido, a Fundep atuou com agilidade para atender as necessidades dos pesquisadores e estudantes.

Com profissionalismo, inovação, ética e transparência, a Fundação buscou proporcionar a qualidade em gerenciamento de projetos para que os coordenadores e suas equipes do projeto IBI pudessem focar as atenções em suas atribuições técnicas essenciais. A Fundep se orgulha de participar de iniciativas como essa, que gera resultados em benefícios para o meio ambiente e a sociedade e sempre estará à disposição para contribuir com a transferência do conhecimento gerado nas universidades e institutos de pesquisa para os cidadãos.

5 – EQUIPE QUE PARTICIPOU DO PROJETO

Ao longo da execução do Projeto IBI-Cemig tivemos a colaboração dos colegas da US Environmental Protection Agency e da Oregon State University no treinamento, discussão, adaptação e validação dos protocolos de avaliação de habitats em riachos e reservatórios. Somos especialmente gratos ao Robert Mason Hughes, Philip Robert Kaufmann, Alan T. Herlihy, Tony Olsen, Steven G. Paulsen, David V. Peck, Curt Seeliger. Durante este projeto diversos estudantes e pesquisadores associados participaram das equipes nas Universidades parceiras. Abaixo, uma listagem de nomes e o reconhecimento de toda a dedicação e empenho:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Alunos de Pós-graduação que atuaram diretamente no projeto:

Déborah Regina de Oliveira e Silva (iniciação científica, mestrado e doutorado)
Diego Castro (doutorado)
Diego Rodrigues Macedo (doutorado)
Evaldo de Lira Azevêdo (mestrado)
Joseline Molozzi (doutorado e pós-doc)
Kele Rocha Firmiano (iniciação científica e mestrado)
Letícia de Moraes (mestrado)
Rafaela Lima de Freitas (mestrado)
Raphael Ligeiro Barroso Santos (doutorado e pós-doc)
Wander Ribeiro Ferreira (doutorado e pós-doc)

Alunos que tiveram monografias defendidas com dados do projeto:

Déborah Regina de Oliveira e Silva
Gisele Moreira
Isabela Sobrinho Martins
Kele Rocha Firmiano
Luciana Gandra
Stella Biondi

Outros alunos de graduação ou Pós-graduação, mestres e doutores que participaram de treinamentos e coletas:

Carlos Bernardo Mascarenhas Alves

Daniel Marchetti Maroneze

Hanna Haiane

Katiene Pimenta Santiago

Laryssa Kalliane de Carvalho

Lilian Coeli

Marden Linares

Taynan Henriques Tupinambás

Thiago Lopes Angueth de Araujo

Biólogos:

Ana Paula Eller

Cíntia Andrade

Diego Castro

Juliana Silva França

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Alunos de Pós-graduação que atuaram diretamente no projeto:

Cecília Gontijo Leal (doutorado)

Daniela Cristina Fagundes (mestrado)

Débora Reis de Carvalho (mestrado)

Míriam Aparecida de Castro (mestrado)

Nara Tadini Junqueira (mestrado)

Rafael Couto Rosa de Souza (mestrado)

Alunos que tiveram monografias defendidas com dados do projeto:

Daniela Cristina Fagundes

Marcela Alves de Souza

Outros alunos de graduação ou Pós-graduação que participaram de treinamentos e coletas:

Alexandre Gontijo Guimarães Guedes

Aline Junqueira Grossi

Carolina S. Schnoor N. Rosa

Ceceo Chaves

Cíntia Veloso Gandini

Deborah Mattos G. Apgáua

Fabio Mineo Suzuki

Francisco Alexandre Costa Sampaio

Gustavo Ribeiro Rosa

Igor Alves Boratto

Ivo Alves Figueiredo

Isabelle Gonçalves de Oliveira Prado

Ivo Gavião Prado

Letícia Elisabete Costa

Lucas Vilela Pires

Marcos Gaspar

Marina Lopes Bueno

Matheus Eduardo Nunes

Pedro Henrique Vilela Ribeiro Borrego

Ruanny Casarim Corrêa

Sarah de Oliveira Saraiva

Thais Yumi Yuhara

Victor Emmanuel Teixeira Gomes

Alunos de Pós-graduação que atuaram diretamente no projeto:

Bárbara Sanches (mestrado)

Mariana Araújo (mestrado)

Ricardo Becker (mestrado)

Alunos que tiveram monografias defendidas com dados do projeto:

Luiza Olinto

Pedro Luiz de Andrade Gomes

Outros alunos de graduação, Pós-graduação, mestres e doutores que participaram de treinamentos e coletas:

Bárbara Becker

Bárbara Durães

Daniel de Melo Rosa

Fabio de Araújo Firpe

Gilberto Nepomuceno Salvador

Guilherme Moreira Santos

Iago de Souza Penido

Jéssica Bonfim

Laís Carvalho

Lorena Santos

Luiza Leonhardt

Marina Luiza Fonseca

Rúbia Praxedes Quintão

Tiago Casarim Pessali

Volney Vono, *in memoriam*

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Outros alunos de graduação ou curso técnico que participaram de treinamentos e coletas:

Aline Pimenta e Silva
Arthur dos Santos Barbosa
Catarina Helena Inês Alves Siqueira
Isabella Ramos
Isabelle Tanne Couto e Silva
Marcos Campos
Maria Isabel Martins
Stéphanie Fernandes Cunha

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA (FUNDEP)

Isabela Rocha Nunes de Lima (Gerente Projetos)
Mariana Sousa Conrado (Assessoria de Comunicação Social)
Renata Ferreira de Freitas (Analista de Projetos)

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 3

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, SORTEIO DE SÍTIOS AMOSTRAIS, RECONHECIMENTO EM CAMPO E REALIZAÇÃO DE AMOSTRAGENS

DIEGO R. MACEDO, PAULO S. POMPEU,
LETÍCIA DE MORAIS, MÍRIAM CASTRO,
CARLOS BERNARDO M. ALVES,
JULIANA S. FRANÇA, BÁRBARA SANCHES,
JANAINA UCHÔA & MARCOS CALLISTO

MACEDO, D.R.; POMPEU, P.S.; MORAIS, L.; CASTRO, M.A.; ALVES, C.B.M.; FRANÇA, J.S.; SANCHES, B.; UCHÔA, J. & CALLISTO, M. 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, v. 1, p. 47-68, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – DESENHO AMOSTRAL

Avaliações ambientais em bacias hidrográficas devem considerar amostragens para investigar padrões de distribuição de espécies e relações com parâmetros físicos e químicos da água e outras características do ambiente, considerando limitações como tempo de amostragem e processamento de amostras, recursos humanos e financeiros. Os objetos destes estudos são tipicamente identificados por sua localização geográfica, ao contrário de pesquisas clássicas de amostragem nas quais a variável “espaço” não é contemplada (Stevens & Olsen, 2004; Theobald et al., 2007). Neste contexto, levantamentos em pontos (ou sítios) amostrais em estudos ambientais devem contemplar a localização geográfica dos sítios de coleta em seu desenho amostral (Theobald et al., 2007).

A amostragem espacialmente balanceada, construída através de probabilidades, é capaz de selecionar uma rede de pontos que reflita o padrão espacial da área de estudo (Theobald et al., 2007). Nos EUA essa abordagem é utilizada tanto em escala nacional quanto regional (Olsen & Peck, 2008), porém, no Brasil é ainda recente, na qual estudos contemplando amostragens com esse tipo de desenho ainda são raros (Macedo et al., 2012; Ligeiro et al., 2013; Macedo et al., 2014).

Neste projeto foi utilizada a abordagem GRTS (*Generalized Random-Tessellation Stratified*), na qual o desenho amostral é hierárquico e espacialmente balanceado, e pode ser aplicado a pontos, linhas e polígonos (Stevens & Olsen, 2004). Esta abordagem baseia-se na conversão de todos os objetos (p. ex. trechos da rede de drenagem) distribuídos em um plano espacial (latitudes e longitudes; bidimensional) para um plano unidimensional neste caso, um único vetor, como se fosse uma grande avenida, e cada observação, um endereço hierarquicamente distribuído (Stevens & Olsen, 2004). O desenho amostral espacialmente balanceado foi desenvolvido para os reservatórios de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão, e em seus trechos de rios de ordens e dimensões de largura e profundidade semelhantes (“*wadeable streams*”, rios capazes de ser atravessados a pé por um adulto mediano; Kaufmann et al., 1999) a montante dos reservatórios a um alcance de até 35 km de distância (Figura 1).

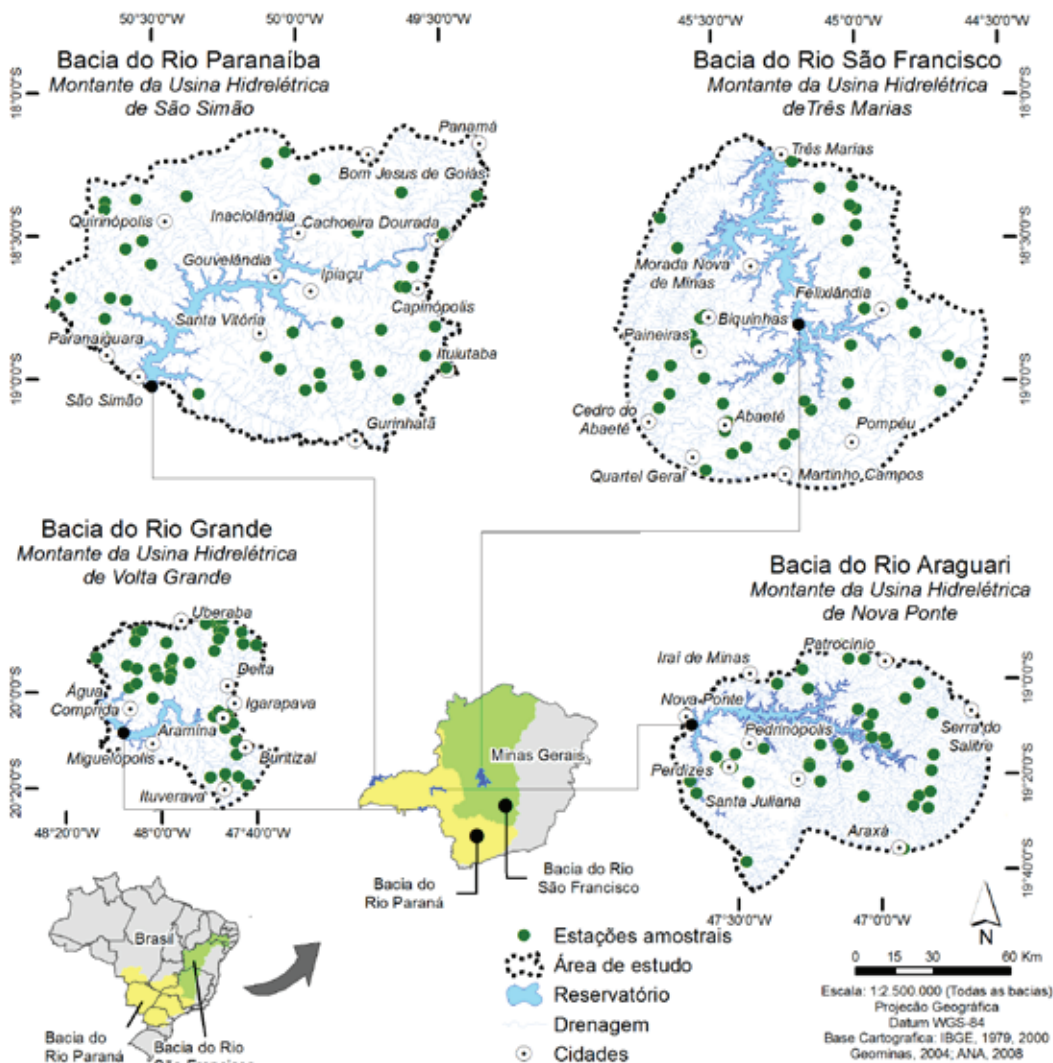


FIGURA 1 – Localização dos pontos de coleta sorteados a montante dos reservatórios de São Simão, Três Marias, Volta Grande e Nova Ponte.

Para a construção da rede de amostragem nos riachos foi utilizada a drenagem das cartas topográficas (escala 1:100.000) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro), digitalizadas pelo Projeto Geominas (Vegi et al., 2011). A rede de drenagem foi topologicamente corrigida através do *ArcGis Desktop*, e a ordem dos riachos foi atribuída segundo a classificação proposta por Strahler (1953), utilizando o programa *Hydroflow* (Ramos & Silveira, 2008). O sorteio espacial foi conduzido no Software *R* (R Development Core Team, 2010) através da biblioteca *Spsurvey* (Kincaid, 2009) e foi criada uma rede principal denominada *Master Sample*, na qual foram definidos pontos de amostragem ranqueados, com uma distância mínima de 1 km entre eles. Os pontos sorteados dentro do reservatório foram eliminados, e os 40 pontos melhor ranqueados (1^a a 3^a ordens) foram selecionados. Como um dos objetivos do Projeto IBI-Cemig foi avaliar a integridade biótica, foi necessário garantir amostragens em locais minimamente e outros severamente alterados (Whittier et al., 2007). Neste caso, alguns pontos de amostragem foram escolhidos em locais preservados ou de referência (p.ex. reserva de Galheiro/Cemig) e impactados (p.ex. áreas urbanas) (Figura 2). É importante destacar que riachos considerados de referência são aqueles minimamente perturbados por ações antrópicas e apresentam características representativas para a região onde estão inseridos, servindo como “controles” (Hughes et al., 1986).

As amostragens nos reservatórios foram conduzidas na região litorânea e o perímetro foi definido a partir de imagens de satélite. O polígono representativo de cada reservatório foi extraído de uma imagem *Landsat* com a composição R7G5B4, eliminando a penetração de luz na água (Jensen, 2006). Foi utilizado o método de classificação *Maxver* para identificar apenas o corpo d’água, utilizando o software *Spring/INPE* (Camara et al., 1996). O sorteio foi adaptado de Stevens & Olsen (2004) e a rotina implementada no *ArcGis Desktop*. A feição do perímetro do reservatório foi convertida de linha para pontos; um ponto foi aleatoriamente sorteado e a partir desse, outros 39 foram posicionados de maneira equidistante (Figura 3).



FIGURA 2 – Trechos de riachos em condições de referência (a; b; c) e impactados (d; e; f) por atividades antrópicas, nas bacias dos reservatórios de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão.

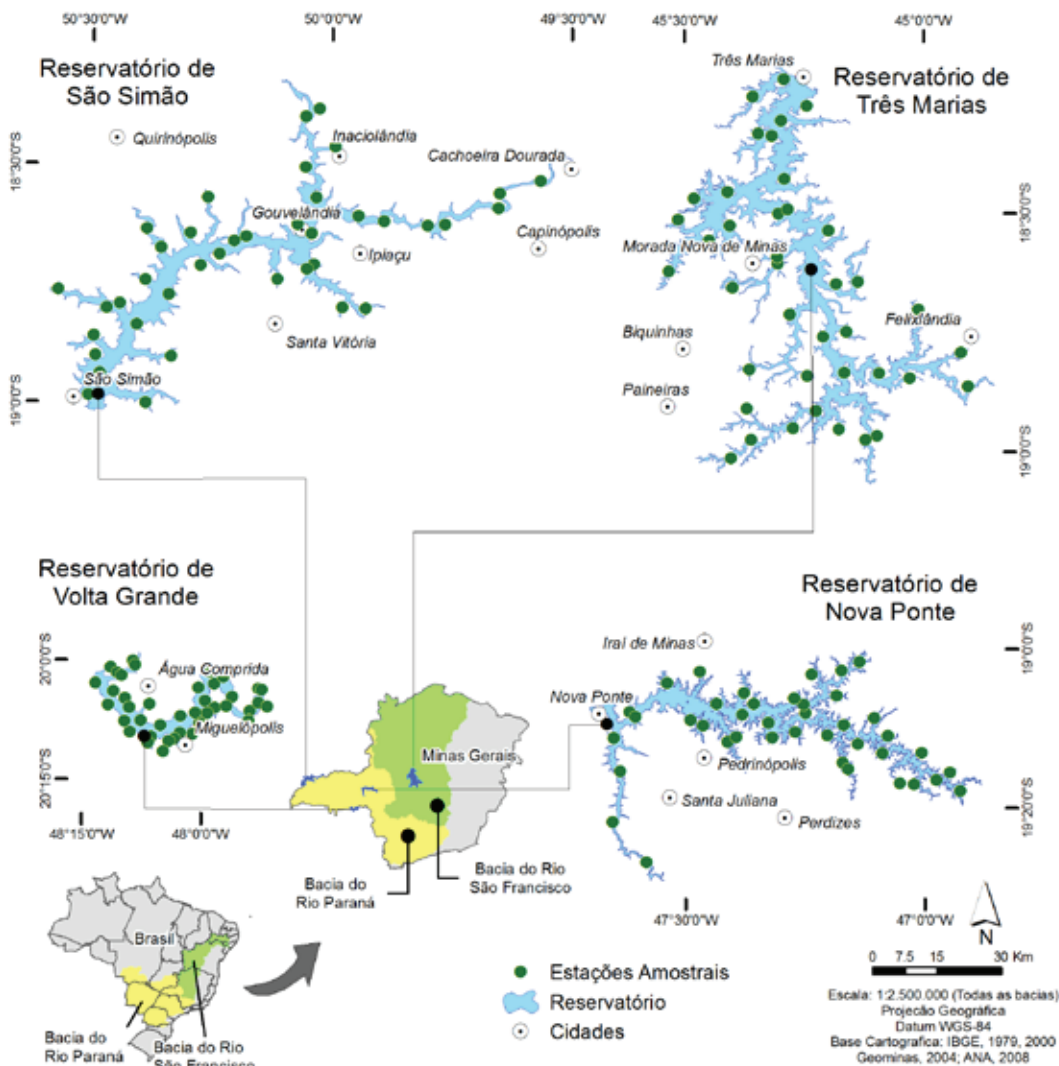


FIGURA3 – Localização dos pontos de coleta sorteados nos reservatórios de São Simão, Três Marias, Volta Grande e Nova Ponte.

2 – DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA E RECONHECIMENTO EM CAMPO

Após a definição da rede de pontos amostrais, uma etapa fundamental que antecedeu cada campanha de amostragens foi o envio de equipes para reconhecimento em campo. Este reconhecimento dos locais de amostragem otimizou o tempo empregado nas campanhas de coletas em campo por garantir e certificar aspectos relacionados a acesso aos sítios amostrais, segurança das equipes em campo, garantias de extensão mínima e contatos prévios com os proprietários de terra para garantir o acesso das equipes. O reconhecimento foi realizado tanto nas campanhas em riachos quanto nos reservatórios, apesar do foco diferenciado em termos de logística. Enquanto nos riachos o objetivo foi encontrar pontos em condições hidrológicas satisfatórias para garantir as amostragens e o acesso por estradas, nos reservatórios o objetivo foi encontrar acessos para entrada com o barco no reservatório, de maneira que os deslocamentos por água entre os sítios amostrais fossem os menores possíveis, e que a partir desse local de desembarque pudessem ser amostrados vários pontos.

Após a definição da rede de amostragem, foram definidas as melhores rotas de acesso. Por meio do software *Google Earth* (Google, 2010) as rotas foram traçadas (Figura 4) e transferidas para um aparelho GPS acoplado a um notebook (Figura 5), para facilitar a navegação da equipe de reconhecimento em campo. Em cada ponto, foi preenchida uma ficha com informações úteis para a equipe responsável pela amostragem.

Durante as viagens de reconhecimento, na eventualidade de não haver acesso garantido a um determinado sítio amostral, as equipes estavam preparadas para visitar novos pontos, seguindo a hierarquia elencada na *Master Sample*. Ao final da viagem de reconhecimento tínhamos garantidos os 40 sítios amostrais em riachos a serem amostrados.

O reconhecimento realizado nos reservatórios também utilizou o software *Google Earth* (Google, 2010) para localizar os possíveis acessos para o barco no reservatório e as respectivas estradas. Também foram calculadas as distâncias entre todos os pontos de coleta e esses acessos, o que auxiliou o planejamento da sequência da amostragem (Figura 6).

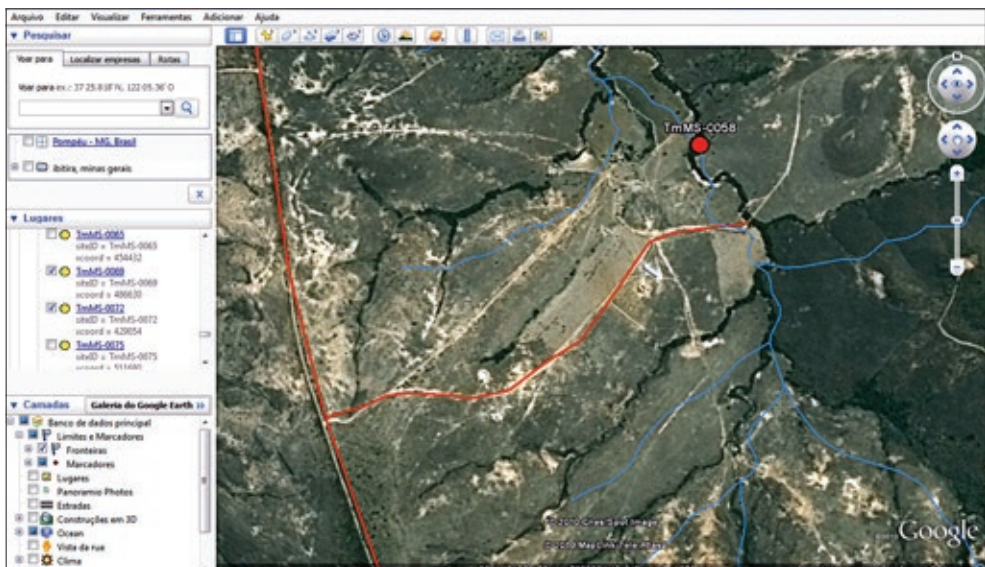


FIGURA 4 – Rota traçada no Google Earth para chegar ao ponto TMMS-0056, bacia do reservatório de Três Marias.



FIGURA 5 – Equipe de reconhecimento em campo na região do reservatório de São Simão.

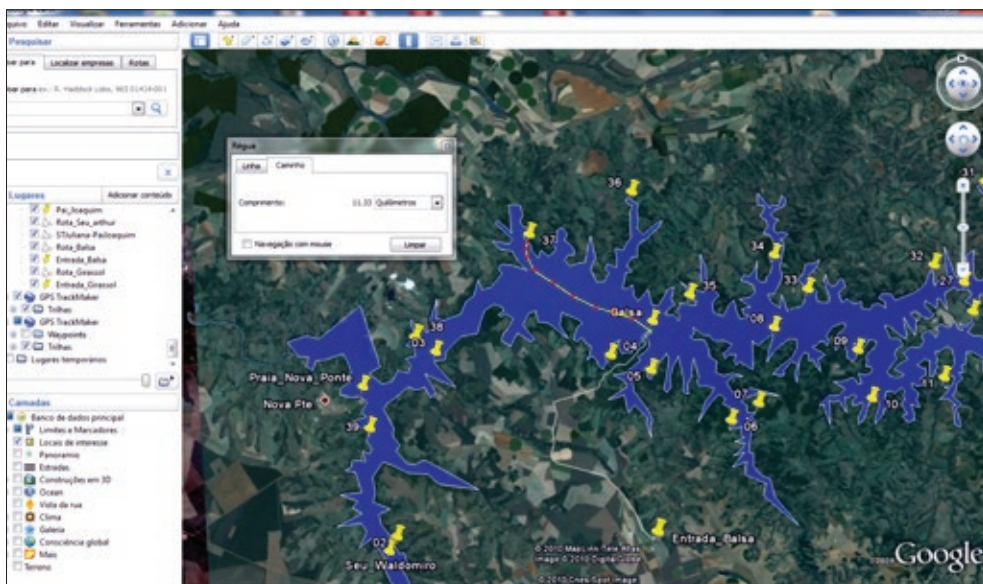


FIGURA 6 – Aferição das distâncias entre os pontos de amostragem no reservatório de Nova Ponte, através do Google Earth.

3 – PREPARAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E EQUIPES DE CAMPO

A organização dos materiais e equipamentos a serem utilizados pelas equipes em campo durante as campanhas de amostragens foi determinada conjuntamente pelas equipes das universidades parceiras. Para a amostragem em riachos, quando 3 a 4 equipes trabalharam concomitantemente, os materiais foram previamente identificados por cor para evitar trocas. Cabe salientar que apenas a manutenção de várias equipes em campo garantiria que o conjunto de córregos fosse amostrado sob a mesma condição hidrológica (curto espaço de tempo: até duas semanas), já que cada equipe é capaz de amostrar apenas um riacho por dia. Para a amostragem em reservatórios, com a utilização de equipes independentes para amostragem biológica (peixes e invertebrados bentônicos), cada material ficou na responsabilidade dos laboratórios da UFMG ou PUC-Minas. As amostragens foram realizadas durante pelo menos 12 dias em riachos (4 equipes com previsão de deslocamento para o local e retorno) e 7 dias em reservatórios (1 equipe com previsão de deslocamento e 8 estações por dia).

A importação de determinados equipamentos tornou-se necessária por não haver similares no mercado nacional. Para tal, foi realizada uma pesquisa de fornecedores e os equipamentos foram adquiridos de acordo com a descrição disponibilizada pela *US Environmental Protection Agency* (US-EPA). Os equipamentos e materiais utilizados nas campanhas de amostragens em riachos e reservatórios são listados no Capítulo 11 (Anexos).

As equipes de campo foram definidas entre os laboratórios participantes de forma a ter representantes das diferentes áreas e universidades envolvidas. Para a coleta em riachos a demanda foi maior sendo necessário um número médio de 12 pessoas (3 ou 4 equipes de no mínimo 4 pessoas), com 2-3 pessoas responsáveis por cada função: preenchimento de protocolo de habitats físicos e mensuração de parâmetros físicos e químicos, amostragens de macroinvertebrados bentônicos e amostragens de peixes. Nas coletas em reservatórios foi necessário um número médio de 3 pessoas (1 equipe) com 1 pessoa responsável por cada função: preenchimento de protocolo, parâmetros físicos e químicos e amostragem de macroinvertebrados bentônicos e eventualmente outro dando apoio, além de um pilotoiro contratado na região do empreendimento. As amostragens de peixes em reservatórios também demandaram 3-4 pessoas por equipe, que se revezaram nas atividades de colocação e retirada de redes, triagem e fixação do material coletado e realização dos arrastos marginais. Todos os participantes passaram por treinamento coletivo para padronização das informações nas medições e utilização do protocolo de campo, e amostragens de parâmetros físicos, químicos e comunidades biológicas.

4 – CARACTERIZAÇÃO DOS HABITATS FÍSICOS E METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM

Cada riacho foi amostrado uma única vez, sempre no mês de setembro. Cada trecho amostrado correspondeu a 40 vezes sua largura molhada, respeitando o mínimo de 150 metros (Peck et al., 2006). O trecho foi dividido em onze seções transversais (A-K) e, entre cada seção, foram realizadas 10 medições equidistantes no perfil do talvegue (Figura 7). Nas seções transversais, foram avaliadas parte das características dos habitats físicos e coletadas amostras de sedimento para identificação de macroinvertebrados bentônicos e, entre os transectos, outras características de habitats físicos e coleta de peixes. Nas seções a montante (K), foram coletadas amostras de água para análise de qualidade – parâmetros físicos e químicos (Figura 8).

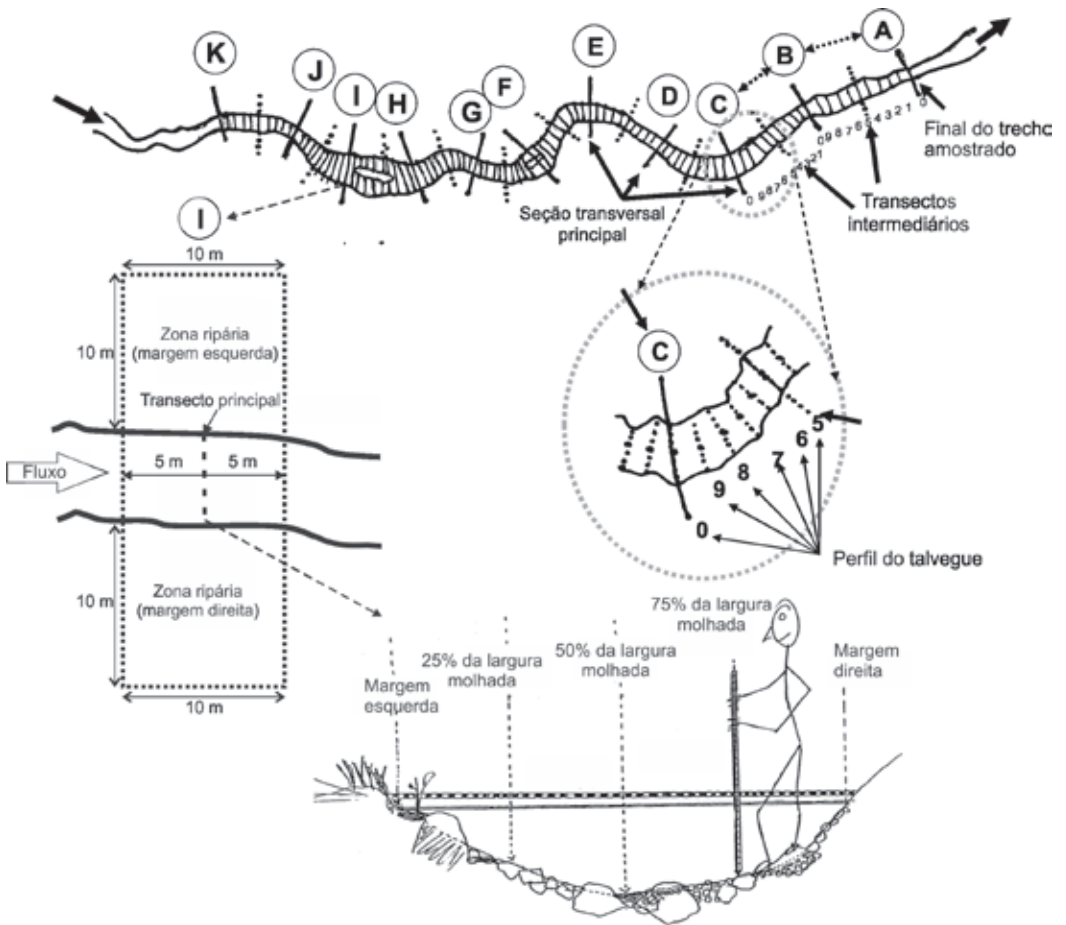


FIGURA 7 – Esquema dos transectos amostrados em cada trecho de curso d’água estudado. Adaptado de Peck et al. (2006).



FIGURA 8 – Fotos das equipes em campo realizando amostragens e medições em riachos nas bacias dos reservatórios estudados.

Em cada um dos 40 pontos do reservatório as amostragens foram realizadas em 10 parcelas amostrais de 15 metros de largura, totalizando 150 metros em cada sítio amostral na região litorânea de cada reservatório (Figura 9). Cada unidade de amostragem foi composta por seções contínuas de zona litorânea (15 metros de largura por 10 metros de comprimento), zona ripária (15 metros de largura e de comprimento) e zona inundável (15 metros de largura e o comprimento variável devido à inclinação das margens nos sítios amostrais; US-EPA, 2011). Assim como nos riachos, foram definidas as características dos habitats físicos, tanto na zona litorânea quanto na zona inundável (zona de depleção) e zona ripária. Na zona litorânea foram armadas as redes para coleta de peixes e coletado o sedimento para a identificação dos macroinvertebrados bentônicos (Figura 10).



FIGURA 9 – Esquema das parcelas amostradas na região litorânea dos reservatórios. Adaptado de US-EPA (2011).



FIGURA 10 – Amostragem em reservatórios. Coleta de amostras de água (A; B; C), aplicação do protocolo de habitats físicos (D) e coleta de sedimento com os amostradores kick-net (E) e draga de Eckman-Birge (F).

5 – MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO

O uso e cobertura do solo nas áreas de entorno possui estreita ligação com a qualidade dos habitats fluviais e, conseqüentemente, com a biota aquática. Usos antropogênicos, notadamente a influência urbana e atividades de agricultura, diminuem a cobertura de vegetação nativa, inclusive das zonas ripárias, o que causa a degradação dos habitats físicos, aumento das taxas de sedimentação, alterações hidrológicas, oscilações na temperatura da água e aumento da disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos (Bryce et al., 2010). Nesse sentido, alguns estudos procuram relacionar o mapeamento do uso e ocupação do solo em várias escalas espaciais com a qualidade dos habitats físicos (Walser & Bart, 1999; Wang et al., 2001).

O mapeamento do uso e cobertura do solo foi elaborado para as sub-bacias de drenagem a montante dos riachos amostrados e em um raio de 500 metros de cada estação amostral localizada nos reservatórios. Para classificar as categorias de uso e cobertura do solo utilizou-se a interpretação manual de imagens com resolução fina (0,6 – 5 metros de resolução espacial; imagens do *Google Earth*; Google, 2010), em conjunto com imagens multiespectrais do sensor TM presente do satélite *Landsat* (Figuras 11 e 12). As imagens de resolução fina oferecem forma e textura dos elementos, e as imagens *Landsat* apresentam respostas espectrais distintas para os alvos, possibilitando uma alta acuidade para o mapeamento. Como exemplo, em uma imagem de resolução espacial fina a vegetação usualmente aparece da mesma cor (onde, por exemplo, tanto uma floresta quanto uma plantação de cana-de-açúcar aparecem em verde), entretanto, suas respostas em uma imagem *Landsat* são diferenciadas por considerar diferenças na estrutura foliar (Jensen, 2006). Neste estudo foram mapeadas quatro fisionomias de cobertura vegetal (IBGE, 1991): Savana Florestada, Savana Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque e Áreas Úmidas; e quatro usos antrópicos: áreas agrícolas, pastagens, reflorestamento de eucalipto e áreas urbanas/construções. As classes mapeadas foram analisadas segundo suas porcentagens na sub-bacia/entorno dos pontos amostrados e agrupadas segundo cada empreendimento.

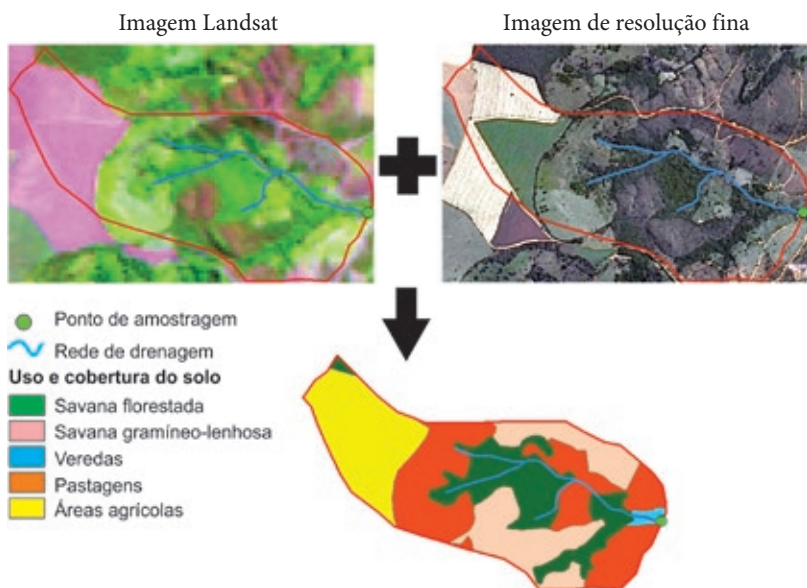


FIGURA 11 – Metodologia esquemática utilizada no ponto NPMS-00128, bacia do reservatório de Nova Ponte.

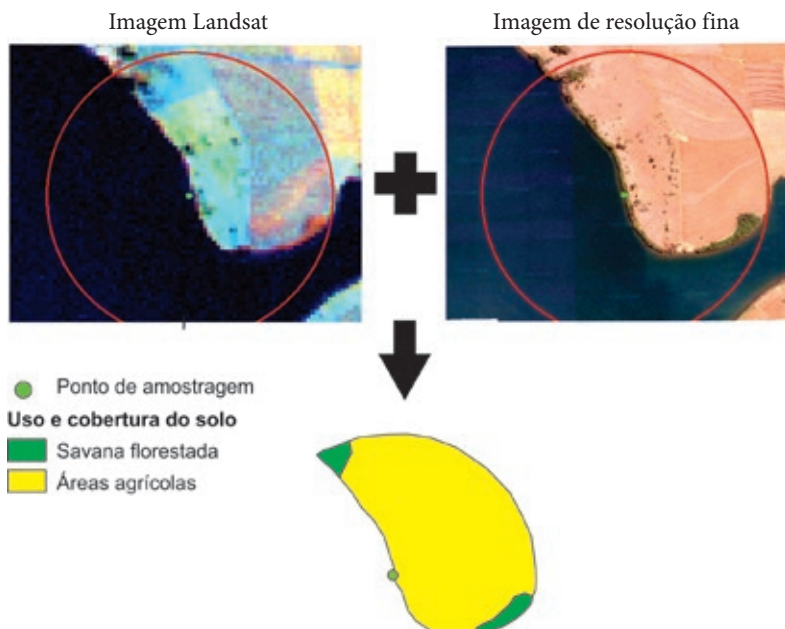


FIGURA 12 – Metodologia esquemática utilizada no ponto 35 do reservatório de Volta Grande.

Em relação aos riachos a montante dos reservatórios, as bacias de Volta Grande e São Simão são as que possuem as maiores porcentagens de área cultivada (acima de 70%) seguidas por Nova Ponte (cerca de 50%). Três Marias apresentou valores abaixo de 20% (Figura 13). Em relação às áreas de pastagens, Três Marias apresentou os maiores valores (cerca de 40%), e os riachos de Nova Ponte, Volta Grande e São Simão apresentaram valores inferiores a 20%. Em relação às áreas com cobertura vegetal (Savana Florestada, Savana Gramíneo-Lenhosa ou Savana Parque), Nova Ponte e Três Marias são as bacias menos impactadas, apresentando cobertura de cerca de 40%. As demais bacias, por apresentarem valores mais altos de áreas agrícolas e pastagens, possuem apenas cerca de 10% de cobertura vegetal. Em relação às áreas urbanas, todas as apresentaram valores abaixo de 5%, entretanto, Volta Grande e São Simão apresentam valores um pouco mais elevados que Três Marias e Nova Ponte. Estes resultados mostram que os riachos de Nova Ponte e Três Marias se encontram em melhores condições em relação a São Simão e Volta Grande.

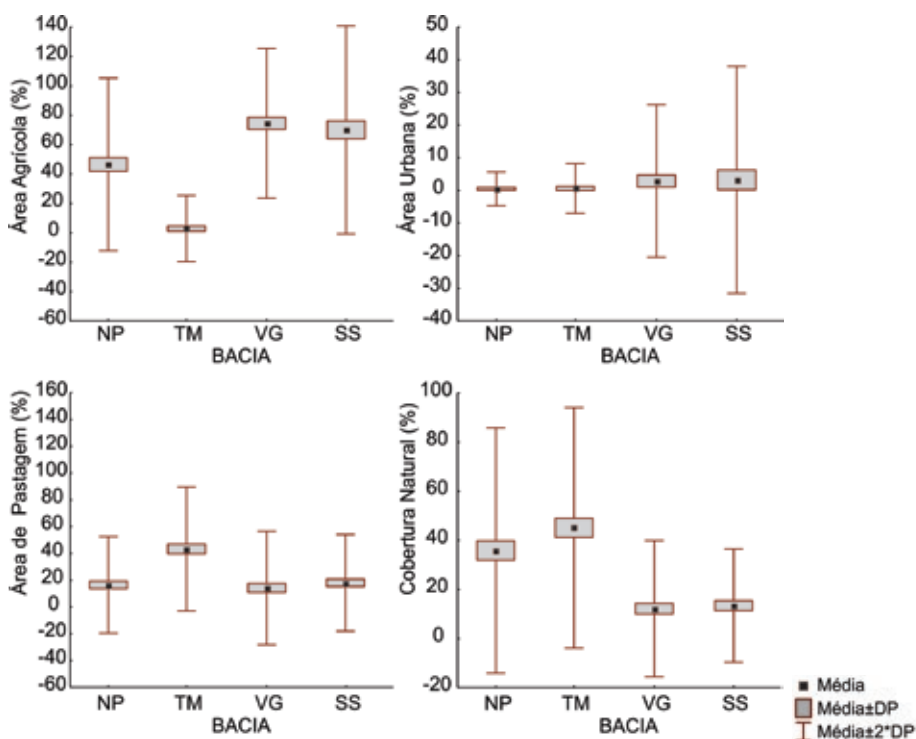


FIGURA 13 – Resultados (média e desvio-padrão, DP) do mapeamento do uso e cobertura do solo nas sub-bacias a montante das estações amostrais nos riachos dos reservatórios de Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS).

Os resultados encontrados na região litorânea dos reservatórios são muito parecidos aos encontrados nos riachos. Neste caso, a região litorânea de Volta Grande, assim como em seus riachos, é a que possui maior porcentagem de área cultivada (cerca de 85%), seguida por São Simão (cerca de 20%); Nova Ponte e Três Marias, que possuem valores próximos a 10% (Figura 14).

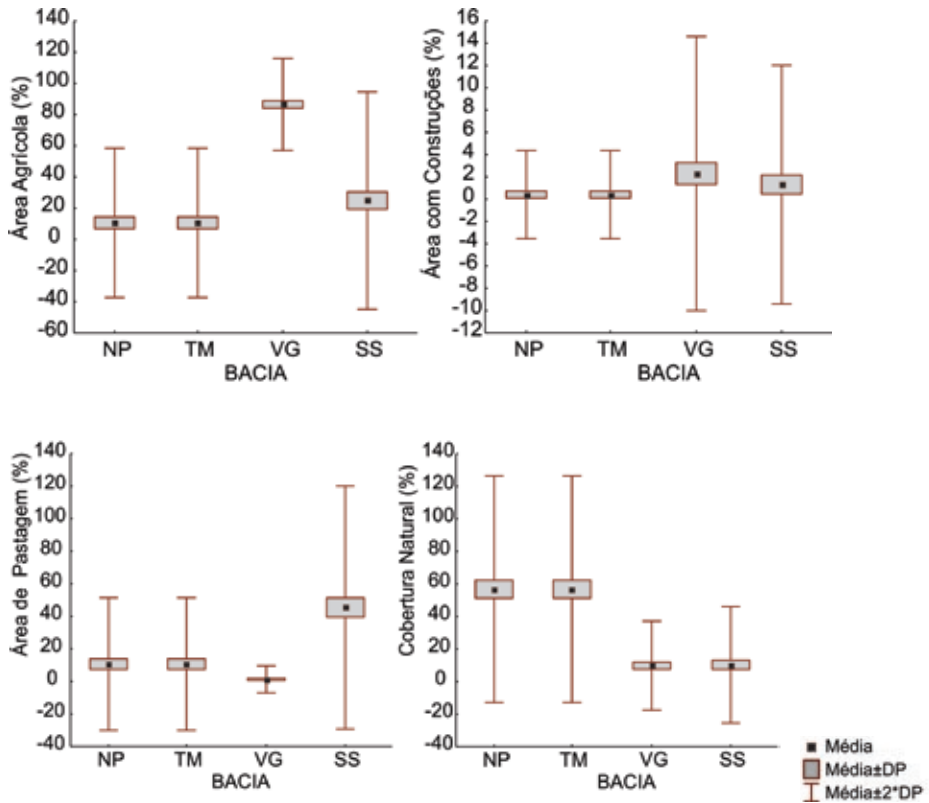


FIGURA 14 – Resultados (média e desvio-padrão-DP) do mapeamento do uso e cobertura do solo no entorno (500 metros) das estações amostrais nos reservatórios de Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS).

Em relação às áreas de pastagens, São Simão também apresentou os maiores valores (cerca de 40%). As regiões litorâneas de Nova Ponte e Três Marias possuem cerca de 10% de pastagens e Volta Grande possui valores ainda menores. Em relação às áreas com cobertura vegetal (Savana Florestada ou Savana Parque), Nova Ponte e Três Marias são os reservatórios menos impactados em sua região litorânea, apresentando cerca de 60% de

margens cobertas por vegetação. Estes resultados são muito parecidos com os encontrados nos riachos, já que estas duas bacias são as que possuem maior porcentagem de cobertura vegetal. Os demais reservatórios, por apresentarem valores mais altos de áreas agrícolas e pastagens, possuem apenas cerca de 10% de cobertura vegetal. Em relação às construções (ranchos, marinas ou áreas urbanas), todos os empreendimentos apresentaram valores abaixo de 5%, entretanto, Volta Grande e São Simão apresentam valores um pouco mais elevados que Três Marias e Nova Ponte. Estes resultados confirmam os encontrados nos riachos, e mostram que o entorno de Nova Ponte e Três Marias se encontram em melhores condições que São Simão e, principalmente, Volta Grande.

6 – AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG, Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA e do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas pelo apoio em campo e laboratório. À Cemig – Programa Peixe Vivo, pelo financiamento do projeto, CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio na forma de bolsas. MC recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq No. 302960/2011-2) e bolsa de pesquisador mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00077/13). PSP recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq No. 306325/2011-0) e bolsa de pesquisador mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00237/13).

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRYCE, S.A.; LOMNICKY, G.A. & KAUFMANN, P.R. Protecting sediment-sensitive aquatic species in mountain streams through the application of biologically based streambed sediment criteria. *Journal of the North American Benthological Society*, v.29, p.657–672, 2010.
- CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M. & GARRIDO, J. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v.20, p. 395–403, 1996.

GOOGLE. *Google Earth*. Google Inc. Mountain View, CA, 2010.

HUGHES, R.M.; LARSEN, D.P. & OMERNIK, J.M. Regional Reference Sites: A Method for Assessing Stream Potentials. *Environmental Management*, v.10, n.5, p. 629-635, 1986.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 92 p, 1991.

JENSEN, J.R. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. 2. ed. New Jersey, NJ: Prentice Hall, 608 p, 2006.

KAUFMANN, P.; LEVINE, P.; ROBISON, E.; SEELIGER, C. & PECK, D. *Quantifying physical habitat in wadeable streams*. EPA/620/R-99/003. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1999.

KINCAID, T.M. *User guide for probability survey design and analysis functions*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2009.

LIGEIRO, R.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; MACEDO, D.R.; FIRMIANO, K.R.; FERREIRA, W.R.; OLIVEIRA, D.; MELO, A.S. & CALLISTO, M. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. *Ecological Indicators*, v.25, p. 45-57, 2013.

MACEDO, D.R.; LIGEIRO, R.; FERREIRA, W.R.; JUNQUEIRA, N.T.; SANCHES, B.O.; SILVA, D.R.O.; ALVES, C.B.M.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; POMPEU, P.S.; SANTOS, G.B. & CALLISTO, M. Parâmetros biológicos e de habitats físicos para a avaliação de bacias no sudeste do Brasil. *Ação Ambiental (UFV)*, v.13, p. 15-18, 2012.

MACEDO, D.R.; HUGHES, R.M.; LIGEIRO, R.; FERREIRA, W.R.; CASTRO, M.A.; JUNQUEIRA, N.T.; OLIVEIRA, D.R.; FIRMIANO, K.R.; KAUFMANN, P.R.; POMPEU, P.S. & CALLISTO, M. The Relative Influence of Catchment and Site Variables on Fish and Macroinvertebrate Richness in Cerrado Biome Streams. *Landscape Ecology*, DOI: 10.1007/s10980-014-0036-9, 2014.

- OLSEN, A.R. & PECK, D.V. Survey design and extent estimates for the Wadeable Streams Assessment. *Journal of the North American Benthological Society*, v.27, p. 822–836, 2008.
- PECK, D.; HERLIHY, A.; HILL, B.; HUGHES, R.; KAUFMANN, P.; KLEMM, D.; LAZORCHAK, J.; MCCORMICK, F.; PETERSON, S.; RINGOLD, P.; MAGEE, T. & CAPPAERT, M. *Monitoring and Assessment Program — Surface Waters Western Pilot Study: field operations manual for wadeable streams*. EPA/620/R-06/003. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2006.
- R. DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Viena, Áustria, 1731 p, 2010.
- RAMOS, J.A.S. & SILVEIRA, C.S. *Hydroflow: Classificação de redes de drenagem pelo método Strahler e Shreve*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.
- STEVENS, D.L. & OLSEN, A.R. Spatially Balanced Sampling of Natural Resources. *Journal of the American Statistical Association*, v.99, n.465, p. 262–278, 2004.
- STRAHLER, A.N. Revision of Horton's quantitative factors in erosional terrain. *Transaction of American Geophysical Union*, v.34, p. 345–345, 1953.
- THEOBALD, D.M.; STEVENS, D.L.; WHITE, D.; URQUHART, N.S.; OLSEN, A.R. & NORMAN, J.B. Using GIS to generate spatially balanced random survey designs for natural resource applications. *Environmental Management*, v.40, n.1, p. 134–46, 2007.
- US-EPA – United States Environmental Protection Agency. *2012 National Lakes Assessment*. Field Operations Manual. EPA/841/B-11/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2012.
- VEGI, L.F.; LISBOA, J.; SOUZA, W.D.; LAMAS, J.P.C.; COSTA, G.L.S.; OLIVEIRA, W.M.; CARRASCO, R.S.; FERREIRA, T.G. & BAIA, J. Uma infraestrutura de dados espaciais para o Projeto GeoMINAS, *In: GEOINFO, XII, 2011, Campos do Jordão. Anais...* Campos do Jordão, Brasil: Instituto de Pesquisas Espaciais, p. 105–110, 2011.

WALSER, C.A. & BART, H.L. Influence of agriculture on in-stream habitat and fish community structure in Piedmont watersheds of the Chattahoochee River System. *Ecology of Freshwater Fish*, v.8, n.4, p. 237–246, 1999.

WANG, L.; LYONS, J.; KANEHL, P. & BANNERMAN, R. Impacts of Urbanization on Stream Habitat and Fish Across Multiple Spatial Scales. *Environmental Management*, v.28, n.2, p. 255–266, 2001.

WHITTIER, T.R.; STODDARD, J.L.; LARSEN, D.P. & HERLIHY, A.T. Selecting reference sites for stream biological assessments: best professional judgment or objective criteria. *Journal of the North American Benthological Society*, v.26, n.2, p. 349–360, 2007.

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 4

ESTRUTURA DA ICTIOFAUNA DE RIACHOS DO CERRADO DE MINAS GERAIS

CECÍLIA G. LEAL, NARA T. JUNQUEIRA,
MÍRIAM A. CASTRO, DÉBORA R. CARVALHO,
DANIELA C. FAGUNDES, MARCELA A. SOUZA,
CARLOS BERNARDO M. ALVES & PAULO S. POMPEU

LEAL, C.G.; JUNQUEIRA, N.T.; CASTRO, M.A.; CARVALHO, D.R.; FAGUNDES, D.C.; SOUZA, M.A.; ALVES, C.B.M. & POMPEU, P.S. Estrutura da ictiofauna de riachos do cerrado de Minas Gerais. 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, v. 1, p. 69-96, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – INTRODUÇÃO

Riachos são importantes componentes da paisagem do cerrado brasileiro e abrigam uma grande biodiversidade aquática. Nesses cursos d'água de pequeno porte, a interação entre os ambientes aquático e terrestre acontece através da vegetação ripária, que dentre diversas funções atua sob a transferência solar, interceptação de sedimentos e entrada de matéria orgânica (Pusey & Arthington, 2003; Casatti, 2010).

A entrada de luz solar nos riachos influencia parâmetros físicos e químicos da água como temperatura e oxigênio dissolvido, assim como a proliferação de cianobactérias, algas e plantas aquáticas; a disponibilidade de abrigos formados pelo sombreamento do canal e também aspectos reprodutivos e de desenvolvimento das espécies de peixes (Pusey & Arthington, 2003; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008; Casatti, 2010). Já a retenção de partículas pela vegetação ripária é sobretudo importante em paisagens antropicamente modificadas e sob pressão de atividades como cultivo e pastagem, que resultam no carreamento de sedimentos, fertilizantes e pesticidas aos cursos d'água. Esse é o caso dos riachos das bacias do rio São Francisco e Alto Paraná, situadas em parte no Cerrado, um dos biomas brasileiros mais reduzidos em termos de área original e sob forte ameaça (Myers et al., 2000). Segundo Wantzen (2006) uma única voçoroca no Cerrado pode resultar em 60 toneladas de sedimentos carregadas por dia para dentro de um riacho.

Por outro lado, a entrada de matéria orgânica alóctone como flores, frutos, folhas e galhos é essencial nesses ambientes, uma vez que serve como substrato, alimento e abrigo para a fauna aquática e influencia também as características hidráulicas dos riachos, sendo então um importante componente da heterogeneidade espacial dos cursos d'água (Angermeier & Karr, 1983; Pusey & Arthington, 2003; Brooks et al., 2004).

A remoção da vegetação ripária pode ser considerada um dos impactos mais severos à integridade dos cursos d'água de pequeno porte, resultando em assoreamento, eutrofização, diminuição da estabilidade do canal e perda de microhabitats importantes para a ictiofauna (Allan & Flecker, 1993; Pusey & Arthington, 2003, Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). Em regiões caracterizadas por ameaças como presença de espécies exóticas, poluição ou construção de estradas, a retirada dessa vegetação pode ainda, aumentar a exposição dos riachos à degradação (Casatti, 2010).

Paralelamente à degradação física dos riachos, a ausência de vegetação ripária resulta em severas modificações na comunidade de peixes, tanto em caráter taxonômico quan-

to funcional (Casatti et al., 2009; Teresa & Casatti, 2012). A complexidade estrutural dos riachos, com seu mosaico de meso e microhabitats, é fundamental para a manutenção da sua biodiversidade. Assim, impactos que levam à degradação estrutural desses ambientes certamente trazem impactos à ictiofauna local e consequências também regionais, uma vez que peixes de riacho apresentam elevado grau de endemismo.

Apesar da sua importância do ponto de vista da biodiversidade e de sua fragilidade, uma vez que modificações no uso e ocupação da terra possuem grande potencial de alteração do fluxo de energia e estrutura dos habitats, poucos são os estudos sobre a ictiofauna de riachos que drenam áreas de cerrado em Minas Gerais. Este estudo teve como objetivo descrever e comparar aspectos da estrutura das comunidades de peixes de riachos de quatro regiões do cerrado mineiro como composição taxonômica e particularidades ecológicas da ictiofauna de cada região, avaliação do esforço de coleta empregado, padrões de similaridade e diversidade beta em diferentes escalas.

2 – METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O cerrado, com suas diferentes fitofisionomias, ocupa cerca de 20% do território de Minas Gerais (Carvalho & Scolforo, 2008), sendo nesse estado o berço das nascentes dos rios São Francisco e Araguari, ambas situadas no Parque Nacional da Serra da Canastra. A bacia de drenagem do rio São Francisco abrange uma área de 645 mil km², aproximadamente 7,6% do território nacional (Godinho & Godinho, 2003). O rio Araguari, um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Paranaíba, possui 475 km de extensão e bacia de drenagem com 21.856 km² (Baccaro et al., 2004). O rio Paranaíba por sua vez, se encontra com o rio Grande na região do Triângulo Mineiro formando então o rio Paraná.

Para as análises realizadas nesse capítulo, foram considerados riachos pertencentes à área de influência de quatro reservatórios da Cemig Geração e Transmissão S.A.: UHEs Nova Ponte, São Simão e Volta Grande, na bacia do alto Paraná, respectivamente instalados nos rios Araguari, Paranaíba e Grande, e o reservatório da UHE Três Marias, situado no rio São Francisco, em bacia de mesmo nome.

A amostragem foi realizada em riachos com ordem de Strahler (1957) inferior a quatro, escolhidos segundo metodologia apresentada no capítulo 3 deste livro. No total foram amostrados 155 riachos, sendo 38 na região de Nova Ponte e 39 em cada uma das regiões

de São Simão, Volta Grande e Três Marias. Os riachos amostrados abrangeram as mais diversas condições de uso do solo na zona ripária e no entorno (pastagem, cultivo, urbano) e diferentes graus de antropização. Da mesma forma, dentro dos riachos diversos mesohabitats foram contemplados no que se refere a diferentes tipos de substrato (matação, cascalho, areia etc.), fluxo (corredeira, praia, poço etc.), e variações em largura, profundidade e encaixamento do canal (Figura 1).



FIGURA 1 – Paisagem e riachos amostrados nas regiões de Nova Ponte (A, B, C, D), Três Marias (E, F, G, H, I), Volta Grande (J, K, L, M), Minas Gerais-São Paulo; e São Simão (N, O, P), Minas Gerais-Goiás.

2.2 Coleta de dados

Cada riacho foi amostrado uma única vez, em setembro, no período de seca, sendo Nova Ponte em 2009, Três Marias em 2010, Volta Grande em 2011 e São Simão em 2012. A extensão do trecho amostrado em cada riacho foi proporcional à sua largura, definido a partir da multiplicação da largura média do riacho por 40, respeitando um trecho mínimo de 150 m (Peck et al., 2006). Cada trecho amostral foi dividido em 10 seções separadas por 11 transectos equidistantes. A metodologia completa da escolha dos riachos encontra-se descrita no capítulo 3 deste livro.

A coleta de peixes teve esforço de amostragem padronizado pelo tempo e número de petrechos utilizados. Portanto, em cada seção duas ou três pessoas utilizaram duas peneiras semicirculares (80 cm de diâmetro, tela mosquiteira) e, quando possível de acordo com as características físicas dos riachos, uma rede de arrasto (4,0 m de comprimento, 2,0 m de altura, 5,0 mm entre nós opostos), durante 12 minutos, totalizando duas horas de amostragem por riacho (Junqueira, 2011) (Figura 2).



FIGURA 2 – Amostragem de peixes através de peneiras e redes de arrasto em riachos do cerrado de Minas Gerais, Brasil.

Para os poucos riachos que apresentaram largura média maior do que 9 m, priorizou-se a amostragem do máximo de habitats diferentes dentro do mesmo limite de tempo, com uso preferencial de rede de arrasto. Nos demais córregos, o intervalo de 12 minutos foi suficiente para amostrar todos os habitats disponíveis ao longo de cada seção.

Os exemplares capturados foram separados por seção e por ponto amostral, etiquetados e fixados em solução de formol 10%. Na amostragem realizada em Volta Grande e São Simão antes da fixação em formol os peixes foram eutanasiados em solução de eugenol. Em laboratório, identificados ao menor nível taxonômico possível, conservados em álcool 70°GL e em seguida depositados na Coleção Ictiológica da Universidade Federal de Lavras (CI-UFLA).

3 – ANÁLISE DOS DADOS

O conjunto de espécies registrado nos riachos amostrados em cada região foi comparado à riqueza regional, aqui definida como a lista de espécies conhecida para a bacia ou trecho da bacia, com base na experiência do próprio grupo de pesquisa e na literatura disponível (artigos e relatórios¹). Para tal, foi necessário assumir algumas generalizações relacionadas à identificação de espécies em trabalhos anteriores (em função de recentes revisões taxonômicas), bem como aquelas determinadas em nível de gênero (sp.). Estabeleceu-se então a porcentagem da riqueza registrada em relação à total em cada bacia, e também a participação relativa de espécies compartilhadas (comuns), e registros únicos dos riachos. À lista regional, também foram consideradas as espécies coletadas nos 4 reservatórios estudados (capítulo 8 deste livro).

Para verificar a similaridade da composição (em termos de espécies, gêneros e famílias) entre as quatro regiões foi realizado o escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) com índice de similaridade de Bray-Curtis, que considera os dados de abundância, através do programa Primer 6.1.13 (Clarke & Gorley, 2006). Adicionalmente, calculou-se o índice de similaridade de Jaccard, baseado em dados de presença e ausência, numa comparação de espécies, gêneros e famílias compartilhados entre os pares de regiões. Para tal utilizou-se o programa Past 2.17b (Hammer et al., 2001).

A representatividade amostral foi avaliada através de curvas de autossimilaridade para

1 ALVES, 2006a; ALVES, 2006b; ALVES et al., 1998; ALVES et al., 2011; ALVES et al., 1997; ALVES & SANTOS, 1997; BAZZOLI et al., 1991; DERGAM et al., 1999; GODINHO et al., 1991; POMPEU et al., 2009; SAMPAIO, 2013; SANTOS, 2010; SANTOS, 1994; SANTOS, 1999; VONO & ALVES, 1995; VONO, 2002; VONO et al., 1997.

riachos e seções, construídas como descrito em Schneck & Melo (2010) utilizando-se índice de similaridade de Sorensen e o programa R (R Development Core Team, 2013). Através deste método, foram geradas 19 amostras de riachos e cinco amostras de seções para cada região.

Para avaliação dos padrões de diversidade dentro de cada bacia hidrográfica (alto Paraná e São Francisco) foi realizada a partição aditiva da diversidade total (gama) nos componentes alfa e beta. A partição aditiva considera que as diversidades alfa, beta e gama são medidas na mesma dimensão (Lande, 1996). Tal análise permite avaliar os padrões de diversidade ao longo de múltiplas escalas em um desenho experimental hierárquico, sendo gama o resultado da soma dos diferentes níveis de diversidade alfa e beta (Crist et al., 2003). Sendo assim, foram considerados os seguintes níveis: alfa 1 (diversidade dentro de cada seção), beta 1 (entre seções), beta 2 (entre riachos), beta 3 (entre regiões; no caso apenas do alto Paraná que engloba as regiões Nova Ponte, Volta Grande e São Simão). Os valores observados de diversidade foram então comparados a valores estimados, obtidos a partir de 1000 randomizações. Esta análise foi realizada através do programa R (R Development Core Team, 2013),

Para correlação entre riqueza de espécies e distúrbio antrópico, calculou-se a correlação de Pearson através do programa Statistica 10.0 (Statsoft, 2011). Como indicativo de impacto, foi utilizado o índice de distúrbio antrópico na zona ripária (W1_Hall) proposto por Kaufmann et al. (1999). Este índice considera a presença e a distância em relação às margens das seguintes categorias de alterações antrópicas: muro, canalização, barramento, construções, estradas, rodovias, ferrovias, canos para captação de água ou descarga de efluentes, entulho, lixo, plantações de grãos, pastagem, silvicultura (monocultura de eucalipto), desmatamento e mineração. Quando presente na zona ripária do riacho, cada categoria de impacto é classificada quanto à distância do curso d'água: mais de 10 m, menos de 10 m ou na margem. Estas informações são combinadas no índice, que alcança maiores valores quanto mais numerosos e próximos do curso d'água estiverem os impactos. Para esta análise foram considerados riachos que tiveram trecho amostral de 150 m, ou seja, com até 3,75 m de largura.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição Taxonômica

No total foram coletados 19.339 indivíduos representando sete ordens, 23 famílias e 144 espécies de peixes nos 155 riachos amostrados (Tabelas 1 e 2). Destes, 5.910 indivíduos e 58 espécies foram registradas na bacia do rio São Francisco, região de Três Marias. Na bacia do Alto Paraná, em Nova Ponte a ictiofauna foi composta por 38 espécies (4.330 exemplares), em Volta Grande por 44 (3.472) e em São Simão, 64 (5.627). Embora com riquezas diferentes, apenas São Simão diferiu em termos do número médio de espécies por riacho, que nesta região foi dez, enquanto nas demais, seis. A comparação desses números absolutos com outros estudos no cerrado ou de outras bacias hidrográficas não é indicada uma vez que estudos em riachos geralmente apresentam metodologias diferentes, adaptadas a diferentes objetivos e características locais.

Peixes de riachos da bacia do Alto Paraná podem ser caracterizados pelo pequeno porte, distribuição espacial restrita, pouco ou nenhum valor comercial e grande dependência da vegetação ripária para alimentação, reprodução e utilização de abrigos (Castro & Menezes, 1998), características que certamente podem ser extrapoladas para riachos da bacia do rio São Francisco. Assim, espécies de maior porte e interesse comercial, como as migratórias *Salminus hilarii* (Três Marias), *Brycon orbignyanus* (Volta Grande e São Simão), *Leporinus friderici* (São Simão) e *Leporinus obtusidens* (São Simão); e a pirapitinga *Brycon nattereri* (um indivíduo registrado em Três Marias), espécie ameaçada de extinção no Brasil na categoria vulnerável (Rosa & Lima, 2008), foram pouco abundantes e podem ser consideradas ocasionais em riachos de até terceira ordem.

A maioria das espécies registradas em todas as regiões é de origem autóctone, ou seja, nativa das bacias de estudo. As três exceções foram o barrigudinho *Poecilia reticulata*, coletada em todas as regiões, e as tilápias *Tilapia rendalli* e *Oreochromis niloticus* registradas em Volta Grande e São Simão respectivamente.

Um importante componente da fauna capturada foram as espécies novas para a ciência e aquelas potencialmente novas, nesse caso ainda em fase de avaliação por especialistas. Embora a bacia do Alto Paraná seja considerada relativamente bem conhecida, sua curva cumulativa de espécies ao longo dos últimos anos apresenta-se como exponencial ascendente (Langeani et al., 2007; 2009). Já a bacia do São Francisco apresenta número relativamente mais baixo de descrições recentes, o que sugere um conhecimento taxonô-

mico mais completo da sua ictiofauna (Langeani et al., 2009), mas pode ser devido a um menor esforço de amostragem nessa bacia. No Alto Paraná foram capturadas oito espécies novas: *Astyanax* sp.n.1 (gr. *scabripinnis*), *Astyanax* sp.n.2 (gr. *scabripinnis*), *Characidium* sp.n., *Characidium* sp.n. (gr. *fasciatum*), *Rhamdiopsis* sp.n., *Trichomycterus* sp.n.1, *Trichomycterus* sp.n.2 e *Trichomycterus* sp.n.3. Para a bacia do São Francisco, região de Três Marias, especialistas confirmaram duas espécies novas: *Hisonotus* sp.n.1, *Hisonotus* sp.n.2. Além destas, pelo menos outras dez espécies (dos gêneros *Astyanax*, *Characidium*, *Harttia*, *Hisonotus*, *Hypostomus*, *Neoplecostomus*, *Rineloricaria*, *Serrapinnus*, e das subfamílias *Hypoptopomatinae* e *Glandulocaudinae*) de ambas as bacias continuam em avaliação, sendo no momento consideradas potencialmente novas até que sua identificação seja confirmada por especialistas.

No geral, a composição de famílias foi similar entre as regiões de estudo, sendo Characidae, Loricariidae e Heptapteridae as que abrigaram maior riqueza de espécies em todas elas (Tabela 2). Poucas famílias foram registradas em apenas uma região: Pseudopimelodidae (*Microglanis leptostriatus*) em Três Marias, Cetopsidae (*Cetopsis gobioides*) e Rivulidae (*Rivulus apiamici*) em São Simão.

TABELA 1 – Número de ordens, famílias, espécies e indivíduos de peixes de riachos registrados em Três Marias (TM), Nova Ponte (NP), Volta Grande (VG) e São Simão (SS).

| | TM | NP | VG | SS |
|------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Nº de ordens | 5 | 6 | 6 | 6 |
| Nº de famílias | 15 | 15 | 14 | 19 |
| Nº de espécies | 58 | 38 | 44 | 64 |
| Espécies por riacho* | 6 (0-20) | 6 (1-16) | 6 (1-14) | 10 (0-20) |
| Nº de indivíduos | 5.910 | 4.330 | 3.472 | 5.627 |
| Indivíduos por riacho* | 151 (0-825) | 113 (6-727) | 89 (4-356) | 144 (0-474) |

* Média (mínimo-máximo)

TABELA 2 – Número de espécies de peixes por ordens e famílias registradas em Três Marias (TM), Nova Ponte (NP), Volta Grande (VG) e São Simão (SS).

| TÁXON | TM | NP | VG | SS |
|---------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Número de espécies | | | |
| CHARACIFORMES | | | | |
| Parodontidae | 3 | 3 | 1 | 2 |
| Curimatidae | - | - | - | 2 |
| Anostomidae | 2 | 1 | - | 7 |
| Crenuchidae | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Characidae | 19 | 10 | 11 | 17 |
| Acestrorhynchidae | - | 1 | - | 1 |
| Erythrinidae | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Lebiasinidae | - | - | 1 | 1 |
| SILURIFORMES | | | | |
| Cetopsidae | - | - | - | 1 |
| Trichomycteridae | 2 | 3 | 2 | - |
| Callichthyidae | - | 1 | 3 | 1 |
| Loricariidae | 13 | 5 | 6 | 7 |
| Heptapteridae | 7 | 4 | 6 | 8 |
| Pseudopimelodidae | 1 | - | - | - |
| Auchenipteridae | 1 | - | 1 | 1 |
| GYMNOTIFORMES | | | | |
| Gymnotidae | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Sternopygidae | 1 | - | - | 3 |
| CYPRINODONTIFORMES | | | | |
| Rivulidae | - | - | - | 1 |
| Poeciliidae | 1 | 2 | 2 | 1 |
| SYNBRANCHIFORMES | | | | |
| Synbranchidae | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PERCIFORMES | | | | |
| Cichlidae | - | 1 | 3 | 4 |
| Riqueza total | 58 | 38 | 44 | 64 |

A porcentagem de espécies comuns à riqueza regional variou de 14% a 21% (Figura 3). A porcentagem de espécies exclusivas dos riachos amostrados variou de 6% para a região de Três Marias, bacia do rio São Francisco, até 15% no Araguari (Figura 3). Espécies exclusivas são aquelas que foram adicionadas à lista regional a partir do presente estudo. Espécies comuns foram àquelas registradas tanto no IBI quanto regionalmente. As demais, parte mais expressiva de cada gráfico, são as espécies que já foram registradas na bacia e que não foram verificadas no presente estudo.

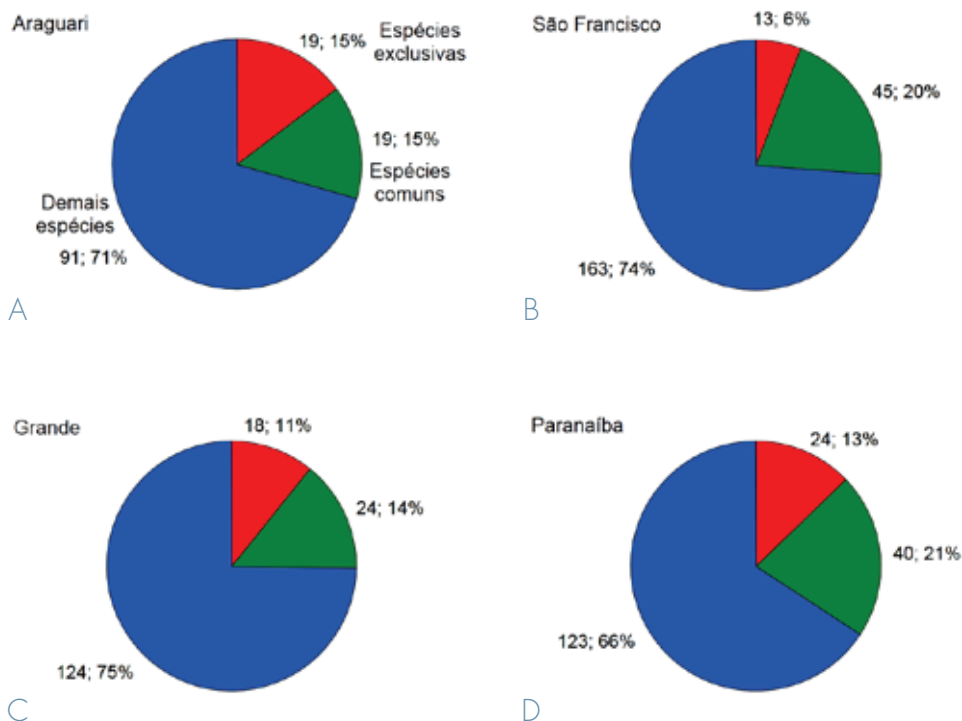


FIGURA 3 – Participação absoluta e percentual da riqueza de espécies registrada nos riachos de cada região em relação à riqueza regional: Araguari (A, Nova Ponte), São Francisco (B, Três Marias), Grande (C, Volta Grande) e Paranaíba (D, São Simão). Espécies comuns, em verde = registradas tanto neste estudo quanto regionalmente. Espécies exclusivas, em vermelho = aquelas adicionadas à lista regional. Demais espécies, em azul = espécies listadas para as bacias mas não registradas no presente estudo.

4.2 Espécies raras e abundantes

O padrão de abundância de espécies das quatro regiões indica comunidades compostas por poucas espécies muito abundantes, dominantes, e várias espécies que podem ser consideradas ocasionais ou raras, representadas por poucos exemplares e em poucos riachos (Figura 4). Nas quatro regiões, as 10 espécies mais abundantes foram responsáveis por pelo menos 75% do total de exemplares coletados. Dentre elas destacam-se *Characidium zebra* e o complexo de espécies *Astyanax scabripinnis*, que figuraram entre as mais representativas em número de indivíduos nas quatro regiões. Além de abundantes, estas duas espécies foram também bem distribuídas na área de estudos, sendo registradas em diversos riachos. *Characidium zebra* ocorreu em 11 riachos em Nova Ponte e Volta Grande, 13 riachos em Três Marias e 22 riachos em São Simão, enquanto *A. scabripinnis* ocorreu em quatro riachos em São Simão, 11 em Três Marias, 26 em Volta Grande e 28 em Nova Ponte. O complexo de espécies *Astyanax scabripinnis* apresenta ampla distribuição em riachos de diversas bacias hidrográficas brasileiras (Betarco & Lucena, 2006), e frequentemente quando estudado em detalhe resulta na diagnose de espécies novas com distribuição mais restrita.

Espécies de *Astyanax* são geralmente bem distribuídas e abundantes em riachos de diversas bacias hidrográficas do sudeste brasileiro. Este gênero é composto por muitas espécies generalistas quanto ao hábito alimentar e utilização de habitats, o que deve influenciar seu sucesso na colonização de diferentes ambientes. Em estudo recente nos riachos da região de Três Marias, Fagundes (2013) observou grande variedade de itens alimentares consumidos por *Astyanax bockmanni*, *Astyanax fasciatus*, *Astyanax intermedius* e *Astyanax rivularis*, sem aparente relação da dieta com o tipo de substrato predominante ou grau de cobertura vegetal ripária. Na mesma região, Souza et al. (2014) detectaram diferença ecomorfológica intraespecífica em *A. intermedius* e *A. rivularis* residentes em riachos com diferentes tipos de substrato.

Nos riachos da bacia do Alto Paraná, algumas espécies de cascudos do gênero *Hypostomus* também figuraram entre as mais abundantes (*Hypostomus ancistroides* e *Hypostomus* aff. *nigromaculatus* em Volta Grande, *Hypostomus* sp. em Nova Ponte, *Hypostomus* sp.2 e *Hypostomus* sp.4 em São Simão), diferentemente da bacia do rio São Francisco. Já as espécies de cambeba do gênero *Trichomycterus* só não foram abundantes em São Simão. Desta forma, *Trichomycterus brasiliensis* em Três Marias, *Trichomycterus* aff. *brasiliensis* e *Trichomycterus candidus* em Volta Grande, e *Trichomycterus* sp.1 e *Trichomycterus* sp.2 em Nova Ponte se destacaram em abundância. Apenas na região de Volta Grande, o barrigu-

dinho exótico *P. reticulata* foi dominante (segunda espécie mais abundante) e constante (registro em 11 riachos). Por outro lado, em Três Marias e São Simão *Knodus moenkhausii* representou 13% e 45% do número total de exemplares respectivamente. Segundo Ceneviva-Bastos & Casatti (2007), *K. moenkhausii* é uma espécie oportunista e eficiente em destinar energia à reprodução mesmo em ambientes fisicamente degradados, o que a torna boa colonizadora de riachos com diferentes graus de conservação.

Algumas espécies podem ser consideradas raras ou acidentais nas regiões de estudo, tendo ocorrido em baixa abundância e em poucos riachos. De acordo com Uieda (1984) a ocorrência dessas espécies pode ser explicada pelo fato de serem migratórias e assim fazerem parte da comunidade apenas durante determinada época do ano; por apresentarem baixa densidade populacional; ou por ocuparem abrigos difíceis de serem amostrados. No presente estudo é possível que os três fatores tenham ocorrido, somados ao fato de algumas espécies utilizarem riachos apenas quando juvenis. Em Três Marias, por exemplo, a pirapetinga *B. nattereri*, e a tabarana *Salminus hilarii*; e em São Simão, a piracanjuba *Brycon orbignyanus* e os piaus *Leporinus friderici*, *Leporinus lacustris*, *Leporinus piavussu*, *Leporinus octofasciatus*, *Leporinus paranensis* e *Leporinus striatus* foram registradas com um único indivíduo jovem cada. Quando adultas estas espécies são residentes de riachos maiores ou rios de médio e grande porte, sendo ocasionais em cursos d'água de pequeno porte na fase juvenil (Pompeu & Godinho, 2003). Os Siluriformes, que englobam algumas espécies de hábito noturno, ocupam habitats menos acessíveis à amostragem e evitam se deslocar na coluna d'água, o que pode ter contribuído para o registro de poucos exemplares de, por exemplo, *Tatia neivai* em Volta Grande e São Simão, e *Cetopsis gobioides* em São Simão. Por último, para outras espécies é possível que a baixa densidade populacional seja a causa da raridade. Entretanto, informações desse tipo são escassas para peixes neotropicais, sobretudo espécies de riacho.

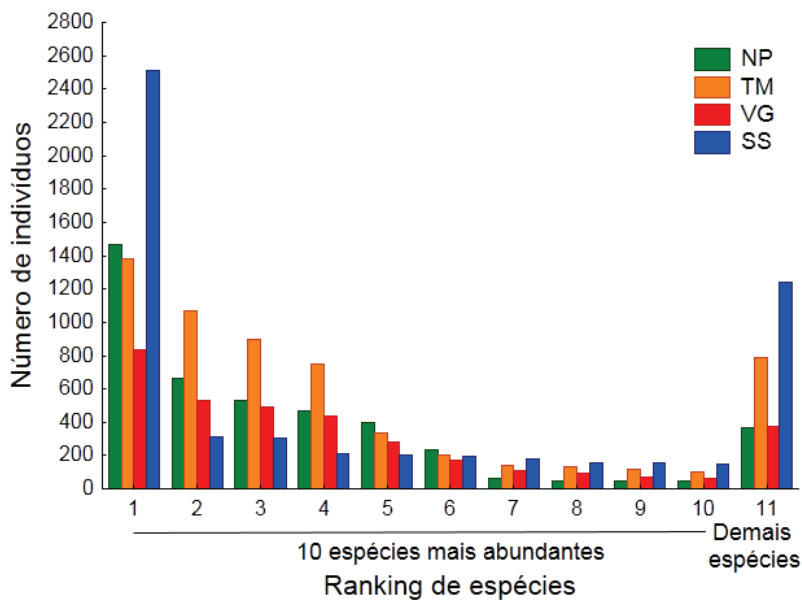


FIGURA 4 – Ranking das espécies de peixes de riachos em ordem decrescente de abundância em Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS).

4.3 Similaridade entre riachos e regiões de estudo

Quando considerada a composição tanto de famílias quanto de gêneros, observa-se grande sobreposição dos riachos das regiões de estudo, indicando grande similaridade entre eles (Figuras 5A e 5B). O índice de Jaccard variou entre 0,6 e 0,8 quando as regiões foram comparadas par a par para a composição de famílias e 0,3 a 0,6 para gêneros.

As bacias do São Francisco e Alto Paraná apresentam notável similaridade ictiofaunística, o que sugere uma conexão geológica recente entre elas (Buckup, 2011). Segundo Buckup (2011) as duas bacias contemplam 63 espécies em comum, o que representa 19,6% da fauna conhecida para a bacia do Alto Paraná e 34% para a do São Francisco. Esses valores podem ser ainda maiores quando considerada apenas a sub-bacia do rio Grande, que drena a encosta meridional da divisa da bacia do São Francisco e forma o rio Paraná na confluência com o Paranaíba. Esta sub-bacia compartilha 51 espécies com a bacia do rio São Francisco.

Em menor nível taxonômico, composição de espécies, observa-se maior dispersão dos riachos no espaço multidimensional e agrupamento das regiões entre si, indicando maior similaridade entre riachos dentro de cada região do que entre regiões (Figura 5C).

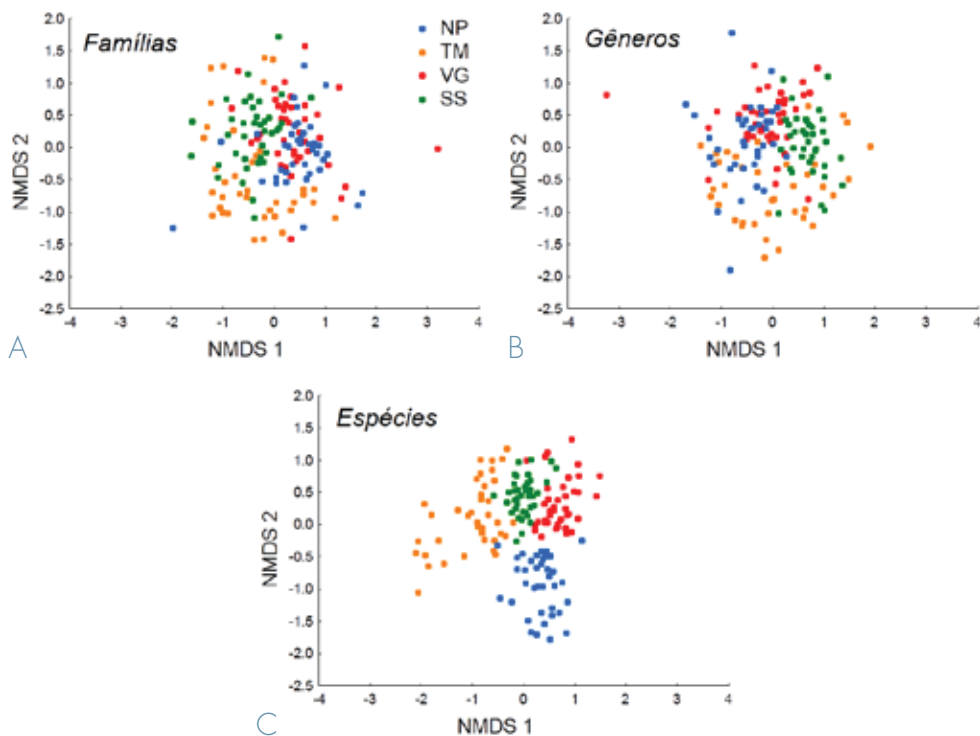


FIGURA 5 – Projeção dos riachos amostrados em Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS) nos dois primeiros eixos do escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) considerando três níveis taxonômicos: famílias (A), gêneros (B) e espécies (C).

Na comparação entre pares de região, o índice de Jaccard resultou em baixa similaridade, 0,1 a 0,3. Neste cenário, a dispersão dos pontos refletiu a distribuição geográfica dos riachos. O primeiro eixo separou primeiramente as bacias do rio São Francisco (Três Marias à direita do primeiro eixo) e do Alto Paraná (demais regiões à esquerda do eixo), e em seguida, as sub-bacias Paranaíba (São Simão e Nova Ponte no centro do gráfico) e rio Grande (Volta Grande à esquerda). Finalmente, o segundo eixo refletiu a separação das duas regiões dentro da sub-bacia do Paranaíba, São Simão na parte superior do eixo e Nova Ponte na parte inferior.

Diferentes resultados em diferentes níveis taxonômicos são esperados, dado o caráter hierárquico da sua organização. Ainda assim, indicam que para o planejamento da conservação em escalas regionais mais amplas, descritores que incorporem não apenas a identidade taxonômica (riqueza ou diversidade de espécies ou famílias por exemplo)

mas também características funcionais e o papel ecológico das espécies no ambiente, são amplamente indicados e considerados melhores preditores do funcionamento dos ecossistemas (Mokanky & Roxburgh, 2008; Mouillot et al., 2011; Teresa & Casatti, 2012). Por exemplo, considerando a escala de gênero ou família, a grande similaridade entre os riachos poderia levar a uma tomada de decisão que subestimasse a contribuição de diferentes riachos das diferentes sub-bacias ao funcionamento regional do ecossistema. Por outro lado, em escala de espécie, a baixa similaridade entre os riachos das regiões poderia direcionar tais medidas para uma superestimativa da contribuição de cada riacho. Da mesma forma que conservar apenas alguns riachos não seria eficiente para a conservação da ictiofauna de riachos em escala regional, optar por conservar todos eles é certamente economicamente inviável.

4.4 Avaliação do esforço de coleta e partição da diversidade

As curvas de autossimilaridade dos riachos apresentaram padrão semelhante nas quatro regiões de estudo, com tendência à estabilização e obtenção de uma assíntota (Figura 6A). No caso da extensão amostral dentro de cada riacho, representada pelo número de seções, houve estabilização das curvas em Volta Grande e Três Marias (Figura 6B). Para Nova Ponte e São Simão, a não estabilização das mesmas indica que a amostragem em mais seções dentro de cada riacho provavelmente resultaria no registro de mais espécies. Entretanto, como pode ser observado pela partição da diversidade, a contribuição deste aumento para a diversidade gama seria muito pequena se comparada àquela obtida pela adição de novos córregos, ou de novas regiões (Figuras 7A e 7B). Em ambas bacias hidrográficas, a diversidade alfa 1, dentro das seções e beta 1, entre seções, juntas foram responsáveis por 7,7% (alto Paraná) e 11,7% (São Francisco) da diversidade regional, gama.

A avaliação do esforço amostral permite examinar quão representativa é uma base de dados de determinada região e conseqüentemente, apropriada para uso em tomadas de decisão e planejamento da conservação em diferentes escalas. Uma base de dados completa é fundamental para nortear a alocação mais efetiva de recursos para a conservação (Smith & Jones, 2005). A estabilização das curvas de esforço amostral indica que a amostragem em termos do número de riachos em cada região, ou do número de seções dentro de cada riacho, resultou em uma amostra representativa da riqueza de espécies, uma vez que um bom tamanho amostral deve resultar em alta similaridade entre duas amostras. Ainda assim, para as duas bacias a diversidade beta entre riachos foi responsável por grande parte da diversidade regional, 39,7% para o alto Paraná e 88,3% para o São Francisco.

A boa representatividade das amostragens efetuadas também foi reforçada pelas estimativas de riqueza, que indicam que em todas elas, de 70% a 80% das espécies foi registrada: 79% (Jackknife 1) e 73% (Jackknife 2) em Nova Ponte, 78% e 71% em Três Marias, 81% e 78% em Volta Grande e 77% e 70% em São Simão. Certamente novas amostragens acrescentariam novas espécies à lista, especialmente pelo fato de riachos abrigarem espécies raras e ou com distribuição restrita. Ainda assim, os resultados indicam que o banco de dados produzido ao longo dos quatro anos do projeto é consistente e completo para análise em diferentes escalas.

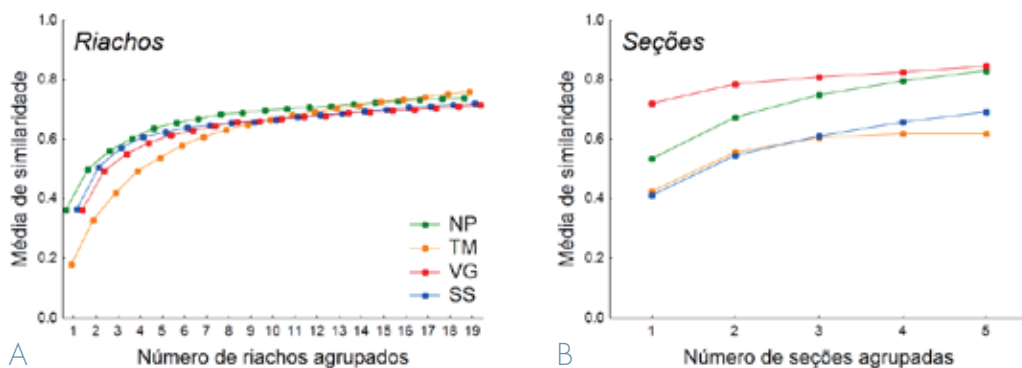


FIGURA 6 – Curvas de autossimilaridade construídas a partir do índice de Sorensen para os riachos (A) e seções (B) de cada região amostrada (NP: Nova Ponte; TM: Três Marias; VG: Volta Grande; SS: São Simão).

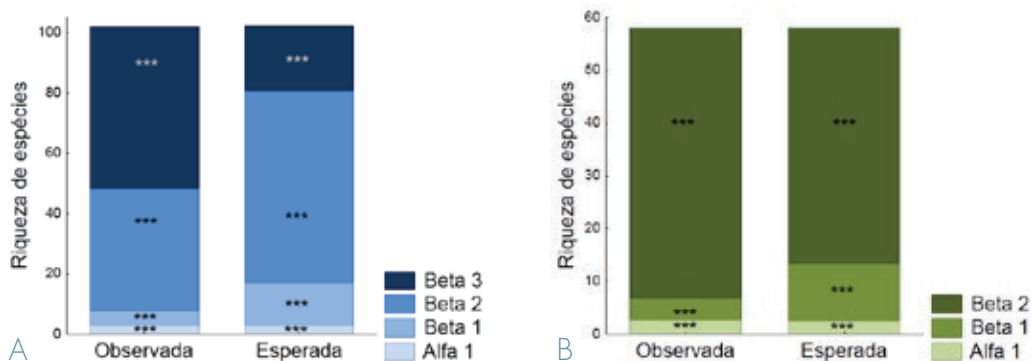


FIGURA 7 – Valores observados e esperados da partição aditiva da diversidade em alfa 1 (dentro das seções), beta 1 (entre seções), beta 2 (entre riachos) e beta 3 (entre regiões) para a bacia do alto Paraná (A; Nova Ponte, Volta Grande e São Simão) e São Francisco (B; Três Marias). *** $p < 0,001$.

4.5 Riqueza e distúrbio antrópico

A correlação entre riqueza de espécies e o índice de proximidade de impacto humano (W_1 _Hall) resultou em valores muito baixos e não significativos (Figura 8). Isso não significa que nas regiões de estudo a ictiofauna não seja negativamente influenciada pelas atividades antrópicas próximas aos riachos, especialmente por não ter sido testado o papel de outras variáveis ligadas ao uso da bacia, como qualidade da água, composição do substrato, cobertura vegetal, etc. No entanto, reforça que a riqueza sozinha não deve ser considerada um bom indicador de distúrbios aos ecossistemas pois a relação entre estes dois componentes pode ser controversa e pouco consistente (Drobner et al., 1998; Leal et al., 2014). Avaliando especificamente a região de Três Marias com maior detalhe, Castro (2012) verificou que variáveis da morfologia do canal e do substrato foram as que mais se relacionaram à riqueza de peixes de riacho, ao contrário do índice de proximidade de impacto e variáveis de qualidade da água.

O principal problema da abordagem apenas taxonômica é considerar que todas as espécies desempenham o mesmo papel no funcionamento dos ecossistemas (Teresa & Casatti, 2012). Diferentes espécies possuem diferentes requerimentos e interações com o ambiente. Por isso, estes descritores sozinhos têm sido considerados falhos em detectar distúrbios antrópicos. Nesse sentido, como dito anteriormente, a avaliação de aspectos funcionais é indicada por ser efetiva em responder rápida e consistentemente entre diferentes táxons e distúrbios (Mouillot et al., 2013). Da mesma forma, abordagens que permitam o entendimento do funcionamento dos ambientes em maior escala, como ciclo de matéria e energia também são indicadas, como no caso dos isótopos estáveis (tópico a ser abordado no capítulo 10 deste livro).

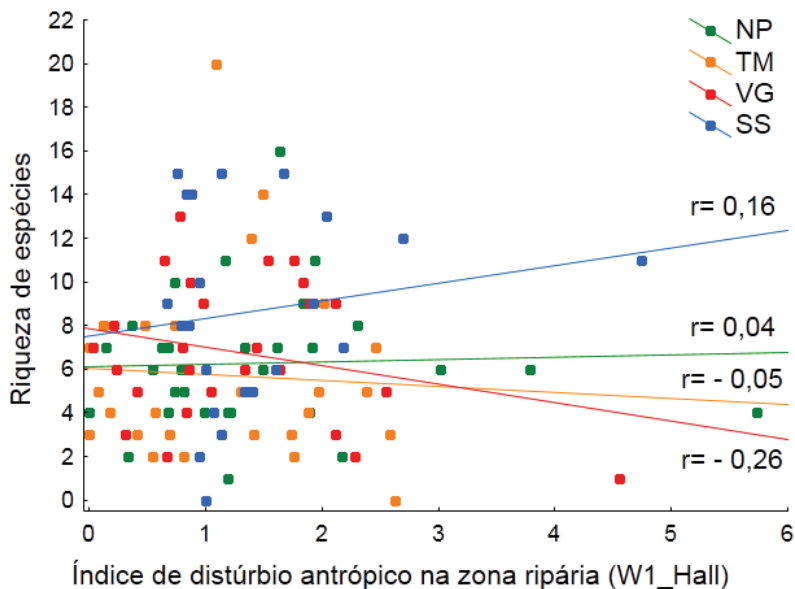


FIGURA 8 – Correlação de Pearson (r) entre riqueza de espécies de peixes e índice de distúrbio antrópico na zona ripária (W1_Hall) para Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS).

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo representa um importante registro da fauna de riachos de uma região do cerrado de Minas Gerais sob forte pressão de atividades antrópicas. Sendo os riachos geralmente negligenciados do ponto de vista da conservação, estudos como este apresentam um notável avanço acerca da lacuna de conhecimento sobre eles existente. O sólido banco de dados reunido após 155 riachos e quatro anos de amostragem, reforça a importância desses cursos d'água de pequeno porte, que abrigam boa representatividade da riqueza regional, espécies exclusivas, espécies novas e potencialmente novas para a ciência. Espécies novas por sua vez, podem ser de grande interesse para a conservação, especialmente se endêmicas, de distribuição geográfica restrita, localmente raras, ameaçadas e/ou indicadoras de qualidade ambiental.

Em campo foi possível observar que cada região amostrada ainda abriga riachos com uma ampla gama de habitats, o que é fundamental para a manutenção da sua ictiofauna.

A proteção desses habitats está relacionada não apenas à integridade das florestas ripárias adjacentes, mas das bacias hidrográficas como um todo (Casatti, 2010). Desta forma, é fundamental a inclusão dos riachos em avaliações que considerem diversas escalas e visem o planejamento da conservação de áreas contendo barramentos. Adicionalmente, os padrões de similaridade taxonômica e diversidade beta encontrados reforçam a notável contribuição dos diferentes riachos e regiões à diversidade regional.

As análises aqui apresentadas certamente darão prosseguimento incluindo outras abordagens e descritores ambientais, permitindo avançar no entendimento do funcionamento de tais ambientes e das respostas das comunidades de peixes aos distúrbios antrópicos locais e regionais.

6 – AGRADECIMENTOS

Agradecemos às equipes do Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA, do Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG, do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas e do CEFET-MG pela participação nas coletas e triagem em laboratório. Aos pesquisadores Robert Mason Hughes e Philip Robert Kaufmann por apoiarem todas as atividades deste projeto. Aos especialistas Ângela Zanata, Cláudio Zawadski, Flávio Lima, Francisco Langeani, Guilherme Dutra, Heraldo Bristki, Naércio Menezes, Roberto Reis e Wolmar Wosiacki pela ajuda na identificação das espécies coletadas. Aos proprietários das terras onde localizam-se os riachos visitados. À Cemig – Programa Peixe Vivo pelo financiamento do projeto, CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio na forma de bolsas. CGL recebeu bolsa de doutorado; NTJ, MAC, DRC e DFS receberam bolsa de mestrado; MAS e DFS receberam bolsa de iniciação científica; PSP recebeu bolsa de produtividade em pesquisa (CNPq No. 306325/2011-0) e bolsa de pesquisador mineiro (FAPEMIG PPM-00237/13). Os créditos das fotografias utilizadas neste capítulo são da equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAN, J. D. & FLECKER, A.S. Biodiversity conservation in running waters. *BioScience*, v. 43, p. 32-43, 1993.
- ALVES, C. B. M. *Levantamento da ictiofauna e caracterização da pesca comercial na área do reservatório e a jusante da Usina Hidrelétrica de São Simão*. Relatório Técnico, Companhia Energética de Minas Gerais. 48 p., 2006a.
- ALVES, C. B. M. *Levantamento da ictiofauna e caracterização da pesca comercial na área do reservatório e a jusante da Usina Hidrelétrica de Emborcação*. Relatório Técnico, Companhia Energética de Minas Gerais. 45 p., 2006b.
- ALVES, C. B. M.; GODINHO, A. L.; GODINHO, H. P. & TORQUATO, V.C. A Ictiofauna da Represa de Itutinga, Rio Grande (Minas Gerais - Brasil). *Revista Brasileira de Biologia*, v. 58, n. 1, p. 121-129, 1998.
- ALVES, C. B. M.; VIEIRA, F. & POMPEU, P. S. *A Ictiofauna da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. In: MMA, Diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Caderno Temático: Biodiversidade. Brasília: SEDR/DZT/MMA. p. 226-241, 2011.
- ALVES, C. B. M.; VONO, V. & VIEIRA, F. *Monitoramento da Ictiofauna do Rio do Carmo - Fase de Pré-Enchimento*. Relatório Técnico. Companhia Energética de Minas Gerais. 79p., 1997.
- ALVES, C.B.M. & SANTOS, G. B. *Levantamento preliminar da ictiofauna do rio Paranaíba (MG), na área de influência da UHE-Emborcação*. Relatório Técnico, Companhia Energética de Minas Gerais. 15 p., 1997.
- ANGERMEIER, P. L. & KARR, J. R. Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. *Environmental Biology of Fishes*, v. 9, p. 117-135, 1983.

- BACARRO, C. A.; MEDEIROS, S. M.; FERREIRA, I. L. & RODRIGUES, S. C. Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Rio Araguari (MG). In: LIMA, S. C. & SANTOS, R. J. (Org.). *Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari - rumo ao desenvolvimento sustentável*. Uberlândia: CNPq, p. 1-20, 2004.
- BAZZOLI, N.; RIZZO, E.; CHIARINI-GARCIA, H. & FERREIRA, R. M. A. Ichthyofauna of the Paranaíba river in the area to be flooded by the Bocaina reservoir, Minas Gerais, Brazil. *Ciência e Cultura*, v. 43, n. 6, p. 451-453, 1991.
- BERTACO, V. A. & LUCENA, C. A. S. Two new species of *Astyanax* (Ostariophysi: Characiformes: Characidae) from eastern Brazil, with a synopsis of the *Astyanax scabripinnis* species complex. *Neotropical Ichthyology*, v. 4, n. 1, p. 53-60, 2006.
- BROOKS, A. P.; GEHRKE, P.; JANSEN, J. D. & ABBE, T. B. Experimental reintroduction of woody debris on the Williams River, NSW: Geomorphic and ecological responses. *River Research & Applications*, v.20, p. 513-536, 2004.
- BUCKUP, P. A. Vicariance and endemism on the eastern Brazilian Shield. In: ALBERT, J.S. & REIS, R.E. (Org.). *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*. Berlin: Verlag Friedrich Pfeil, p. 203-210, 2011.
- CARVALHO, L. M. T. & SCOLFORO, J. R. *Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa 2005-2007*. Lavras: Ed da UFLA, 357 p, 2008.
- CASATTI, L. Alterações no Código Florestal Brasileiro: impactos potenciais sobre ictiofauna. *Biota Neotropica*, v. 10, p. 31-34, 2010.
- CASATTI, L.; FERREIRA, C. P. & CARVALHO, F. R. Grass-dominated stream sites exhibit low fish species diversity and dominance by guppies: an assessment of two tropical pasture river basins. *Hydrobiologia*, v. 632, p. 273-283, 2009.
- CASTRO, R. M. C. & MENEZES, N. A. Estudo diagnóstico da diversidade de peixes do estado de São Paulo. Pp. 1-13. In: CASTRO, R. M. C. (Ed.), JOLY, C. A. & C. E. M. (Orgs.). *Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: Síntese do conhecimento ao final do século XX. Vertebrados*. São Paulo: Winner Graph - FAPESP, v. 6, p. 1-13, 1998.

- CASTRO, M. A. *Fatores estruturantes e possíveis espécies indicadoras da assembleia de peixes de riachos afluentes do reservatório de Três Marias, MG*. Dissertação de Mestrado, Lavras: UFLA, 2012.
- CENEVIVA-BASTOS, M. & CASATTI, L. Oportunismo alimentar de *Knodus moenkhausii* (Teleostei, Characidae): uma espécie abundante em riachos do noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 97, p. 7-15, 2007.
- CLARKE, K. R. & GORLEY, R. N. *Primer v5: user manual/tutorial*. Plymouth, United Kingdom: PRIMER-E. 190 p., 2006.
- CRIST, T. O.; VEECH, J. A.; GERING, J. C. & SUMMERVILLE, K. S. Partitioning species diversity across landscapes and regions: a hierarchical analysis α , β , and γ -diversity. *The American Naturalist*, v.162, p. 734-743, 2003.
- DERGAM, J. A.; ALVES, C. B. M.; VIEIRA, F.; SANTOS, G. B. & PAIVA, S. R. *Padrões de biodiversidade ictiofaunística na bacia do rio Paranaíba*. Relatório Técnico Final, Ruralminas, 129 p., 1999.
- DROBNER, U.; BIBBY, J.; SMITH, B. & WILSON, J. B. The relation between community biomass and evenness: what does community theory predict, and can these predictions be tested? *Oikos*, v. 82, p. 295-302, 1998.
- FAGUNDES, D. C. *Influência da cobertura vegetal e tipo de substrato na dieta de quatro espécies de Astyanax da bacia do rio São Francisco, MG*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Lavras. 2013.
- GODINHO, H.P.; GODINHO, A.L.; FORMAGIO, P.S. & TORQUATO, V.C. Fish ladder efficiency in a southeastern river. *Ciência e Cultura*, v. 43, n. 1, p. 63-67, 1991.
- GODINHO, H. P. & GODINHO, A. L. *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas, p. 468, 2003.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T. & RYAN, P. D. PAST - Paleontological statistics software for education and data analysis. *Paleontologica Electronica*, v. 4, n.1, 9pp. 2001.

JUNQUEIRA, N. T. *Ictiofauna de riachos da bacia do rio araguari, MG: estrutura, composição e relações com aspectos geográficos e amostrais*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras. 2011.

KAUFMANN, P. R.; LEVINE, P.; ROBISON, E. G.; SEELIGER, C. & PECK, D.V. *Quantifying Physical Habitat in Wadeable Streams*, p. 149, 1999.

LANDE, R. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos*, v. 76, p. 5–13, 1996.

LANGEANI, F.; BUCKUP, P. A.; MALABARBA, L. R.; PY-DANIEL, L. H. R.; LUCENA, C. A. S.; ROSA, R. S.; ZUANON, J. A. S.; LUCENA, Z. M. S.; BRITTO, M. R.; OYAKAWA, O. T. & GOMES-FILHO, G. Peixes de água doce. In: ROCHA, R. M. da & BOEGER, W. A. P. *Estado da arte e perspectivas para a zoologia no Brasil*. Curitiba: Ed. UFPR, p. 211-230, 2009.

LEAL, C. G.; JUNQUEIRA, N. T.; ALVES, C. B. M. & POMPEU, P. S. Morphological space stability in rivers under different disturbance regimes. *Copeia*, v. 1, p. 149-159, 2014.

MOKANY, K.; ASH, J. & ROXBURGH, S. Functional identity is more important than diversity in influencing ecosystem processes in a temperate native grassland. *Journal of Ecology*, v. 96, p. 884–893, 2008.

MOUILLOT, D.; GRAHAM, N. A. J.; VILLÉGER S.; MASON, N. W. H. & BELLWOOD, D. R. A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 28, n. 3, p. 167-177, 2013.

MOUILLOT, D.; VILLÉGER, S.; SCHERER-LORENZEN, M. & MASON, N.W.H. Functional structure of biological communities predicts ecosystem multifunctionality. *PLoS ONE*, v. 6, n. 3, e17476, 2011.

- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853–8, 2000.
- PECK, D. V.; HERLIHY, A. T.; HILL, B. H.; HUGHES, R. M.; KAUFMANN, P.R.; KLEMM, D. J.; LAZORCHAK, J. M.; MCCORMICK, F. H.; PETERSON, S. A.; RINGOLD, P.L.; MAGEE, T. & CAPPAERT, M. R. *Environmental Monitoring and Assessment Program: Surface Waters Western Pilot Study—field operations manual for wadeable streams*. EPA 620/ R-06/003. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 276p. 2006.
- POMPEU, P. S.; ALVES, C. B. M. & VIEIRA, F. *Estudo da preferência hidráulica da ictiofauna como ferramenta para avaliação e previsão de impactos em trechos de vazão reduzida*. 23p. 2009.
- PUSEY, B. J. & ARTHINGTON, A.H. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Marine and Freshwater Research*, v. 54, p. 1–16, 2003.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Áustria: R Foundation for Statistical Computing. 2013.
- ROSA, R. S. & LIMA, F. C. T. Peixes. pp. 65-81 In. MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M. & PAGLIA, A. P. (eds.) *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2v., 1420 p., 2008.
- SAMPAIO, F. A. C. *Influência da variação de vazões sobre a comunidade de peixes a jusante de um reservatório brasileiro*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras. 2013.
- SANTOS, G. B. A ictiofauna da bacia do Alto Paraná (rio Grande e rio Paranaíba). *MG-Biota*, v. 2, n. 6, p. 5-25, 2010.
- SANTOS, G.B. *Diagnóstico limnológico das condições ambientais do reservatório da UHE Volta Grande: Ictiofauna*. Relatório Técnico. Companhia Energética de Minas Gerais. 45p., 1994.

- SANTOS, G.B. *Estrutura das comunidades de peixes de reservatórios do sudeste do Brasil, localizados nos rios Grande e Paranaíba, bacia do alto Paraná*. Tese de Doutorado. São Carlos, SP. 159p., 1999.
- SATO, Y. & GODINHO, H.P. Migratory fishes of the São Francisco River. In: CAROLSFELD, J.; HARVEY, B.; ROSS, C. & BAER, A. (Org.). *Migratory fishes of South America: biology, fisheries, and conservation status*. Victoria: World Fisheries Trust/IDRC/World Bank, p. 199–232, 2003.
- SCHNECK, F. & MELO, A. S. Reliable sample size for estimating similarity among macroinvertebrate assemblages in tropical streams. *Internation Journal of Limnology*, v. 46, n. 2, p. 93-100, 2010.
- SMITH, K. L. & JONES, M. L. Watershed-level sampling effort requirements for determining riverine fish species composition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 62, p. 1580-1588, 2005.
- SOUZA, M. A.; FAGUNDES, D. C.; LEAL, C. G. & POMPEU, P. S. Ecomorphology of *Astyanax* species in streams with different substrates. *Zoologia*, v.31, n.1, p.42-50, 2014.
- STATSOFT, INC. *STATISTICA (data analysis software system)*, version 10. 2011. www.statsoft.com
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.
- TERESA, F. B. & CASATTI, L. Influence of forest cover and mesohabitats types on functional diversity and composition of fish communities in Neotropical lowland streams. *Ecology of Freshwater Fish*, v. 21, p. 433-442, 2012.
- TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

- UIEDA, V. S. Ocorrência e distribuição dos peixes em um riacho de água doce. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 44, n. 2, p. 203-213, 1984.
- VONO, V. & ALVES, C. B. M. *Avaliação da atividade reprodutiva da comunidade de peixes na área de influência a montante da UHE-Igarapava*. Relatório Técnico. Companhia Energética de Minas Gerais. 41p., 1995.
- VONO, V. *Efeitos da implantação de duas barragens sobre a estrutura da comunidade de peixes do rio Araguari (Bacia do Alto Paraná, MG)*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 132 p., 2002.
- VONO, V.; ALVES, C. B. M. & MAGALHÃES, A. L. B. A ictiofauna dos cursos d'água tributários do reservatório da futura UHE-Igarapava - rio Grande. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 9, p. 33-43, 1997.
- WANTZEN, K.M. Physical pollution: effects of gully erosion on benthic invertebrates in a tropical clear-water stream. *Aquatic Conservation*, v. 16, p. 733-749, 2006.

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 5

ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS A PARTIR DO EMPREGO DE PROTOCOLOS DE AVALIAÇÃO RÁPIDA EM CURSOS D'ÁGUA

HERSÍLIA DE A. E SANTOS, STEPHANIE F. CUNHA,
ISABELLE T. C. E SILVA, MARIA I. MARTINS,
CATARINA H. I. A. SIQUEIRA & ARTHUR DOS S. BARBOSA

SANTOS, H. A.; CUNHA, S.F.; SILVA, I.T.C.; MARTINS, M.I.; SIQUEIRA, C.H.I.A. & BARBOSA, A.S. Análises sedimentológicas a partir do emprego de protocolos de avaliação rápida em cursos d'água. 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, v. 1, p. 97-126, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – INTRODUÇÃO

Os impactos advindos dos processos de erosão, transporte e deposição dos sedimentos têm sido mais intensos ao longo das últimas décadas. Os principais fatores que contribuem para estes processos são alterações antrópicas da superfície terrestre e mudanças climáticas (Marengo, 2007; Kaufmann et al., 1999; Rodrigues, 2002; Carvalho, 2008; FISRWG, 1998).

As consequências envolvem prejuízos ambientais e econômicos, na medida em que ocorrem perdas de habitats físicos em rios (Kaufmann et al., 1999; Mazeika et al., 2006) e comprometimento de estruturas hidráulicas como reservatórios e tomadas d'água (Carvalho, 2008).

Estudos detalhados da erosão da bacia e do transporte de sedimentos no canal podem ser adotados para identificar as fontes geradoras e diagnosticar os impactos ambientais em rios (Kaufmann et al., 2008). No Brasil, estudos sedimentológicos são particularmente importantes em razão da predominância da geração hidráulica de energia elétrica no país (Carvalho, 2008).

Sistemas fluviais normalmente funcionam com limites naturais de vazão, transporte de sedimentos, fluxo de energia, e outras variáveis, o que é chamado de equilíbrio dinâmico (FISRWG, 1998). Alterações significativas nas taxas de erosão, transporte e deposição de sedimentos comprometem este equilíbrio e comprometem a qualidade das águas superficiais (Kaufmann et al., 1999).

Diante das consequências dos processos relacionados aos sedimentos em rios, instituições governamentais têm adotado medidas que avaliam a saúde do rio, em função da preservação das taxas “normais” de transporte e deposição, através de protocolos de avaliação rápida (Maddock, 1999; Oliveira & Cortes, 2005; Harding et al., 2009). Esta ideia surgiu em meados da década de 1980 nos Estados Unidos, quando na ocasião os órgãos ambientais perceberam a necessidade de se estabelecer métodos de avaliação qualitativos, devido ao alto custo e demora das pesquisas quantitativas. Para tal são utilizados Protocolos de Avaliação Rápida, que envolvem levantamentos de reconhecimento superficial (tais como mapeamento de habitat tipo) com identificação, mapeamento e medição das principais características de habitat ao longo de um trecho do rio, em um espaço de tempo relativamente curto (Maddock, 1999; Oliveira & Cortes, 2005; Harding et al., 2009).

A análise completa dos processos de transporte e deposição de sedimentos envolve o monitoramento contínuo através de equipamentos e métodos custosos, incluindo opera-

ção de postos de medida e o levantamento topo-batimétrico (Carvalho, 2008). Sabe-se que hoje no Brasil poucas são as estações de sedimentologia instaladas ao longo dos principais cursos d'água. Desta forma, frente à necessidade de cálculo de Índices de Integridade Bbiótica (Maddock, 1999; Oliveira & Cortes, 2005; Harding et al., 2009), avaliações das condições sedimentológicas, mais simplificadas, das calhas dos rios podem ser pesquisadas utilizando dados dos protocolos de avaliação rápida.

O objetivo deste trabalho foi verificar a aplicabilidade da metodologia dos protocolos de avaliação rápida em estudos sedimentológicos, que normalmente se utilizam de dados monitorados por estações. Para isto, foram aplicados protocolos em rios de pequeno porte, afluentes ao reservatório da usina de Nova Ponte, Três Marias, São Simão e Volta Grande (Minas Gerais), e avaliados os principais fatores antrópicos e morfológicos que influenciam a estabilidade do leito e o aporte de sedimentos. Como objetivos específicos deste capítulo espera-se discutir:

- Contribuições dos protocolos para o sistema de gestão de sedimentos em rios brasileiros;
- A importância da ação antrópica nos principais processos de transporte de sedimentos;
- O grau de preservação dos trechos amostrados em relação ao transporte de sedimentos;
- As consequências destes resultados para o processo de perda de habitat disponível para as espécies aquáticas locais.

1.1 Métodos de Amostragem Sedimentológica e a Rede Brasileira de Estações

Os sedimentos transportados por um rio podem ser classificados em (Carvalho, 2008):

- Carga sólida de arrasto: partículas que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água e que estão em contato com o leito. É composta principalmente por sedimentos mais grossos.
- Carga sólida em suspensão: partículas que estão suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, sendo pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão.

Os trabalhos de sedimentometria são normalmente efetuados em posto fluviométrico, pois outras medidas, com por exemplo a velocidade da corrente e vazão líquida, são também importantes para este tipo de estudo.

Os diversos métodos de medição da descarga em suspensão, de arrasto ou total, são classificados em diretos (ou *in situ*) e indiretos (Tabela 1).

Nos métodos diretos de amostragem, tanto em suspensão como arrasto, após a coleta, as amostras são trabalhadas posteriormente no laboratório. Normalmente estas são che-cadas quanto às condições de transporte, armazenagem e identificação.

TABELA 1 – Principais métodos e equipamentos de medição sedimentológica - Fonte: Carvalho, 2008

| Carga sólida | Tipo de Medição | Equipamentos ou metodologias |
|--|---|--|
| Em suspensão | Direta | *Medidores de concentração ou outras grandezas |
| | | Medidor nuclear (portátil ou fixo), |
| | | Ultrassônico ótico; |
| | | Ultrassônico Doppler de dispersão; |
| | | Turbidímetro; |
| | | ADCP (Doppler); |
| | | *Por acumulação: |
| | Garrafa Delft (medição pontual e concentração alta) | |
| | Indireta | *Amostragem da mistura água-sedimento |
| | | Bombeamento; |
| Equipamentos que usam garrafas ou sacas (U-59, DH-48, DH-59, D-49, P-61 e amostrador de saca); | | |
| | *Imagens de satélite | |
| De arrasto | Direta | *Amostradores portáteis |
| | | Cesta ou caixa – medidores Muhlhofer, Ehrenberger e outros; |
| | | Bandeja ou tanque – medidores Losiebsky, Polyakov, SRIH e outros; |
| | | Diferença de pressão – medidores Helly-Smith, Arnhem, Sphinx e outros; |
| | | *Amostragem por fendas |
| | | Medidor Mulhofer (EUA) |
| De arrasto | Indireta | *Coleta de material do leito, análise granulométrica, medida da declividade, da temperatura, parâmetros hidráulicos e cálculo da descarga de arrasto e de material do leito por fórmulas |
| | | *Deslocamento de dunas |
| | | Levantamentos batimétricos |
| | | *Traçadores radioativos |
| | | *Método acústico |
| | | *Método fotográfico |

A pesagem das amostras é realizada antes do processamento. Este por sua vez é selecionado de acordo com a tipologia do material. Amostras de sedimento do leito seguem para a determinação da granulometria, onde vários procedimentos podem ser utilizados como peneiramento, tubo de acumulação visual, tubo de retirada pela base, pipetagem ou densímetro. Amostras de material em suspensão seguem para a determinação da concentração, seja por filtração ou por evaporação e também seguem para a determinação da granulometria, que pode ser feita através do tubo de retirada pela base, pipetagem ou pelo densímetro.

A rede fluviométrica básica ou primária do Brasil, sob a responsabilidade da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), contava, em abril de 2000, com 1.581 postos fluviométricos, dos quais 415 com medidas da descarga sólida em suspensão (vazão de sedimentos). Outras entidades têm operado a rede secundária, tendo sido alguns dos postos incorporados à rede básica. Entretanto, devido a questões de ordem operacional e financeira, muitas das estações da rede sedimentométrica primária operam restritamente, obtendo apenas a descarga em suspensão. A frequência de medidas também tem sido inferior à desejável para o bom conhecimento do meio natural (Carvalho, 2000).

Desta forma, o desenvolvimento de técnicas alternativas para amostragem de sedimentos é uma necessidade do cenário nacional. Ressalta-se a importância do conhecimento dos processos de transporte de sedimentos para o setor elétrico, já que estimativas apontam elevados custos. Nos Estados Unidos, custos de recuperação de perda de capacidade devido à acumulação de sedimentos em reservatórios giram na ordem de milhões de dólares anuais (Chow, 1964).

1.2 Teoria do transporte de sedimentos

O início do movimento da carga sólida, em sistemas fluviais, ocorre quando a tensão atuante em uma dada partícula é maior que a sua resistência ao movimento (VTDEC, 2001). Define-se como tensão de um escoamento a relação entre o peso específico da água, o raio hidráulico e a declividade do canal (Eq. 1):

$$\tau = \gamma R_h S \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

τ = Tensão de arraste (N/m^2);

γ = Peso específico da água (N/m^3);

R_h = Raio hidráulico (m);

S = Declividade (m/m).

Quando a tensão do escoamento se iguala à resistência da partícula, tem-se a tensão de arraste crítica (τ_{cr}) (Eq. 2). A resistência da partícula varia de acordo com o seu diâmetro, com as dimensões das partículas que estão no entorno bem como a sua orientação e a porcentagem de seu volume que está inserida no leito (VTDEC, 2001). O diâmetro da partícula relativo à dimensão das do entorno afeta a sua exposição ao escoamento, o que é medido pelo fator de “proteção” (θ). Com base nestes princípios, a tensão de arraste crítica, necessária para mover uma partícula de um dado diâmetro, é dada por:

$$\tau_{cr} = \theta g (\rho_s - \rho_w) d \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

τ_{cr} é a tensão de arraste crítica (Pa);

θ é o parâmetro de Shields;

g é a aceleração da gravidade (m/s^2);

ρ_s é a densidade do sedimento (kg/m^3);

ρ_w é a densidade da água (kg/m^3);

d é o diâmetro da partícula de interesse (m).

Desta forma, a quantidade de material erodido em um rio é função da magnitude destas forças e do tempo em que as mesmas são aplicadas.

Para obter a maior partícula passível de ser transportada por um escoamento em um trecho de rio, deve-se igualar a tensão crítica de arraste com a tensão no escoamento, calculada para o nível de água correspondente à calha completa – *bankfull* (Eq. 3) (Kaufmann et al., 1999):

$$\gamma R_{bf} S = \theta g (\rho_s - \rho_w) d \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

R_{bf} = Raio hidráulico da calha completa ou *bankfull* (m);

Isto se justifica por que os escoamentos hidráulicos, que ocorrem durante cheias, são capazes de mover as maiores partículas encontradas em um rio (Lisle, 1982). Desta forma, algumas vazões de cheia alteram significativamente a morfologia do canal de rio. Normalmente, considera-se a vazão da calha completa (*bankfull*) como a vazão mínima capaz de alterar a forma da calha e esta está relacionada a frequência de ocorrência de 1 a 2 anos (Stack, 1989). A vazão do *bankfull* pode ser evidenciada no limite em que a vazão extrapola o canal e atinge as cotas da planície de inundação (Harding et al., 2009).

Quando a tensão do escoamento calculada para o *bankfull* é igual à crítica, o canal está em equilíbrio. Tensões superiores à crítica indicam degradação do canal, quando tensão de arraste inferior à crítica, indica agitação. Medir ambos os tipos de tensão de arraste é crucial para entender os ajustamentos do canal (VTDEC, 2001).

A avaliação dos diâmetros dos sedimentos encontrados nos rios permite a análise do processo de degradação do mesmo quanto ao transporte de sedimentos. Uma das formas de calcular a estabilidade da calha de rio é avaliar o diâmetro médio das partículas do leito. Quando estas são mais finas do que o tamanho médio que o rio é capaz de mover, tem-se um leito instável. Tal comparação (entre o tamanho da sedimento encontrado e o diâmetro crítico – maior sedimento móvel durante a cheia que completa a calha) tem sido utilizada para avaliar os efeitos do aporte de sedimentos (Kaufmann et al., 2008). Desta forma, define-se o índice de estabilidade do leito (LRBS) pela Eq. 4:

$$LRBS = \log \left(\frac{D_{gm}}{\left[\frac{(\rho_w g R_{bf} S)}{\theta (\rho_s - \rho_w) g} \right]} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

D_{gm} = diâmetro geométrico médio (m);

Todas estas informações podem ser obtidas nos Protocolos de Avaliação Rápida do US-EPA e constituem um método indireto de avaliação da carga sólida total. Diante dos aspectos operacionais e financeiros no sistema brasileiro de medição sedimentométrica, o emprego de tais protocolos para avaliação da integridade biótica pode fornecer importantes informações sobre os processos de agradação e degradação em cursos d'água.

2 – METODOLOGIA

2.1 Áreas de estudo

O presente estudo envolveu quatro regiões do estado de Minas Gerais. Todas elas possuem em comum a presença de um reservatório. Em cada região, foram aplicados os protocolos de avaliação rápida em 40 trechos de rios, localizados a montante dos reservatórios. Isto permitiu avaliar os processos sedimentológicos que contribuem para perda de capacidade de armazenamento de água a jusante.

Cada região estudada apresenta suas particularidades com relação à declividade dos terrenos, tipo de solo, pluviosidade e uso/ocupação do solo (Tabela 2); estes fatores podem contribuir para diferentes processos de transporte de sedimento em cada uma delas.

Nova Ponte

A região, localizada a montante do reservatório de Nova Ponte, se encontra no chamado Triângulo Mineiro. Os trechos amostrados fazem parte de tributários dos rios Araguari e Quebra-Anzol.

Quanto ao reservatório de Nova Ponte, formado em 1993, este possui área de 443 km² e capacidade de armazenamento de 12.800 hm³. O uso do solo da região caracteriza-se por uma intensa atividade agropecuária (Brasil, 2010).

TABELA 2 – Principais características das áreas de estudo.

Fonte: Brasil, 2010

| | Solo | Declividade | Altitude (m) | Precipitação Anual | Uso do Solo |
|--------------|--|--|--------------|---------------------|--|
| Nova Ponte | -Cambissolo háplico -Argissolo vermelho-amarelo -Latosolo vermelho-amarelo | -Áreas com I entre 0 e 12% -Áreas com I > 12% | 50 - 335 | Maior 1.500 | -Agricultura -Agropecuária -Reservas |
| Três Marias | -Neossolo litólico -Argissolo vermelho-amarelo -Latosolo vermelho -Cambissolo háplico | -Áreas com I entre 0 e 12% -Áreas com I > 12% | 520-989 | Entre 1.200 e 1.500 | -Agricultura -Agropecuária -Reservas |
| Volta Grande | Latosolo vermelho | -Áreas com I entre 0 e 12% | 50-821 | Entre 1.200 e 1.500 | -Agricultura |
| São Simão | -Latosolo vermelho -Argissolo vermelho-amarelo | -Áreas com I entre 0 e 12% | 821 - 1.258 | Entre 1.200 e 1.500 | -Agricultura e -Agropecuária |

Três Marias

Os trechos amostrados nesta região se encontram no Alto São Francisco. O reservatório de Três Marias possui uma área mínima de 316 km² e máxima de 1.010 km², correspondendo respectivamente aos volumes de 4.250 e 19.528 hm³. A construção desta usina iniciou em 1957.

Entre os principais tributários deste reservatório estão o Paraopeba e o Pará, além do próprio rio São Francisco que nasce na região da Serra da Canastra.

Volta Grande

Os principais tributários do reservatório de Volta Grande são os Córregos Bunitis, Água Comprida, São Miguel, Lajeado e Ribeirão do Carmo. Este reservatório faz parte de uma cascata localizada no Rio Grande e portanto recebe contribuições das regiões de montante desta bacia.

A usina hidrelétrica de Volta Grande foi construída em 1974. Seu reservatório originou-se do barramento do rio Grande entre os estados de Minas Gerais e São Paulo, e possui uma área de 221,7 km² e um volume de 2.244 hm³.

Ressalta-se que a montante desta usina hidrelétrica se encontra o reservatório de Igarapava e mais outras barragens.

São Simão

Localizado no trecho inferior do rio Paranaíba, na divisa de Minas Gerais e Goiás, o reservatório de São Simão tem como principais tributários os rios São Marcos, Corumbá, Meia Ponte, Araguari e Tejuco. Sua área inundada é de 700 km² e seu volume é de 12.540 hm³ e sua construção data de 1978.

2.2 Aspectos sedimentológicos da aplicação dos protocolos de avaliação rápida

A aplicação dos protocolos IBI é atualmente utilizada como o método padrão para coleta de dados dos habitat de riachos de cabeceira pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA) em seu Programa de Avaliação e Monitoramento Ambiental (EMAP). Este protocolo prioriza a coleta de habitat físico, ou seja, os elementos físicos considerados mais importantes na ecologia de riachos. Alguns destes elementos físicos estão diretamente relacionados ao transporte de sedimentos: dimensões do canal, gradiente, tipo e tamanho do substrato, cobertura ripária, e alterações antrópicas. Segundo Kaufmann et al. (1999) a aplicação deste método é mais eficiente na estação seca.

O comprimento do trecho a ser estudado é determinado de acordo com a largura molhada do ponto médio no momento da amostragem, sendo que a US-EPA especifica 40 vezes a largura molhada (com comprimento mínimo de trecho igual a 150 metros). A partir deste ponto as medidas são alocadas sistematicamente de forma a representar todo o trecho estatisticamente (Figura 1).

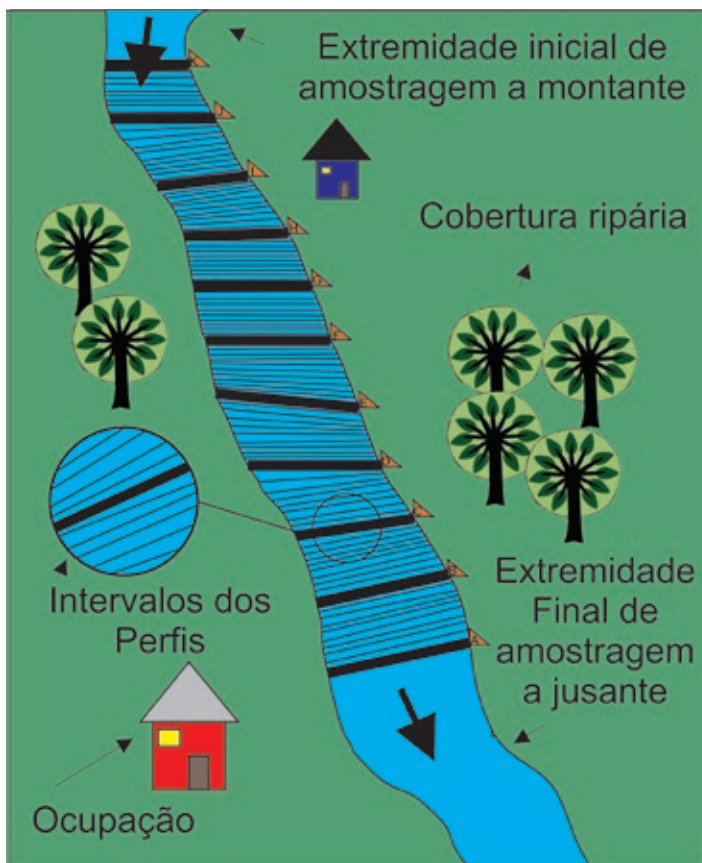


FIGURA 1 – Esquema de alocação de medidas nos trechos.

Em cada transecto são medidos a largura molhada, as profundidades da seção transversal, o substrato, as características da margem e a cobertura ripária. As Tabelas 3 e 4 resumem os principais componentes do protocolo aplicadas para os estudos de sedimentologia.

Outros parâmetros importantes para análise de transporte de sedimento são a declividade e a sinuosidade de um rio. Nos protocolos de avaliação rápida da US-EPA, a declividade da superfície da água é medida entre cada transecto utilizando mangueira de nível. Caso as condições do local, ou o comprimento da mangueira não permitam a medição da diferença de nível de todo o transecto, o mesmo pode ser dividido em duas ou três partes sendo registrada a estimativa da porcentagem do comprimento do transecto

correspondente à medição. A declividade média do trecho é calculada pelo somatório do produto entre o desnível, peso equivalente à fração do comprimento do trecho e o intervalo entre os transectos.

TABELA 3 – Componentes do protocolo da US-EPA.

| | |
|---------------------|---|
| Perfil longitudinal | Mede-se a profundidade do talvegue, classifica-se o habitat aquático, determina-se a presença de sedimentos finos nos pontos onde é medido o talvegue, e a largura molhada em cada seção e no ponto intermediário entre duas seções, a sinuosidade e a declividade. |
| Seções transversais | Mede-se a largura da seção; a profundidade em cinco pontos ao longo da linha perpendicular ao escoamento, sendo dois marginais e três no meio do canal; altura da margem; o ângulo da margem; e a cobertura ripária, usando <i>Convex Spherical Densiometer</i> . |
| | Estima-se visualmente a classe granulométrica do substrato (Tabela 4) nos mesmos pontos onde é medida a profundidade. |
| | Observa-se os distúrbios antrópicos e a sua proximidade com o canal entre eles: muros/diques/revestimentos; construções; pavimentação; estradas/ferrovias; canalizações; lixo/entulho; parques/gramados; agricultura; pastagens; ações que envolvem troncos das árvores; atividades de mineração. |
| Vazão | Em riachos médios ou grandes, é medida a velocidade e a profundidade em uma seção uniforme subdividida em uma quantidade de 15 a 20 intervalos. Em pequenos riachos, a vazão é medida pelo tempo médio de enchimento de um balde. |

TABELA 4 – Classificação do substrato.

| | |
|---|-----------------|
| RS – Leito de pedra (<i>Bedrock</i>) | > 4000 mm |
| BL – Pedras (<i>Boulders</i>) | > 250 a 4000 mm |
| CB – Seixos (<i>Cobbles</i>) | > 64 a 250 mm |
| GC – Cascalho Grosso (<i>Coarse Gravel</i>) | > 16 a 64 mm |
| GF – Cascalho Fino (<i>Fine Gravel</i>) | > 2 a 16 mm |
| SA – Areia (<i>Sand</i>) | > 0.06 a 2 mm |
| FN – Silte e argila | < 0.06 mm |

A sinuosidade é medida seguindo os mesmos critérios para declividade. Para a medição, utiliza-se uma bússola, e entre cada transecto, ou fração, mede-se o ângulo da direção do canal em relação ao norte. A sinuosidade é calculada pela razão entre o comprimento do trecho e a linha reta entre os dois extremos do transecto.

2.3 Métricas dos protocolos de avaliação rápida importantes pra sedimentologia

A partir das medições realizadas nos protocolos de avaliação rápida da US-EPA, foram calculados parâmetros hidráulicos e sedimentológicos médios ao longo de cada trecho amostrado. Estes parâmetros também são conhecidos como métricas e podem indicar qualidade do habitat físico encontrado pelas espécies locais.

Neste capítulo, serão detalhadas os seguintes grupos de métricas:

- Métricas relacionadas às características hidrogeomorfológicas;
- Métricas relacionadas ao transporte de sedimentos;
- Métricas relacionadas ao uso e ocupação do solo;
- Métricas relacionadas à qualidade da vegetação ripária;

Métricas relacionadas às características hidrogeomorfológicas

Estas métricas estão relacionadas às medidas geométricas da calha, bem como dos níveis de escoamento evidenciados nas marcas das últimas cheias do rio. Um parâmetro muito importante para compreender a dinâmica de um rio é a razão largura por profundidade (Eq. 5).

$$RLP = \frac{L}{P} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

L = Largura do canal correspondente a um determinado nível de água (m);

P = Profundidade do canal correspondente a um determinado nível de água (m);

Esta métrica serve como um índice de forma do canal, indicando trechos rasos e largos quando seu valor é alto e trechos estreitos e profundos quando seu valor é baixo. Este parâmetro também pode indicar o tipo de habitat disponível para a biota do curso d'água.

Com relação ao transporte de sedimentos, aumento na velocidade ou na razão largura por profundidade resulta no aumento da capacidade de transporte para uma determina-

da potência do rio (Lisle, 1982). Por outro lado, aumento no assoreamento da calha pode reduzir a capacidade de escoamento da mesma, aumentar a razão da largura pela profundidade, forçar a invasão da água nas margens do canal e induzir a erosão das margens (FISRWG, 1998).

Neste trabalho foi calculada a razão da largura pela profundidade de cada trecho para o nível de água da coleta (realizada na seca). Foram verificadas a gama deste índice nos riachos e sua relação com o processo de transporte de sedimentos.

Outro parâmetro hidrogeomorfológico importante para estudo é o chamado raio hidráulico (R_h). Este normalmente é obtido pela relação entre a área molhada e o perímetro molhado de uma seção transversal (Eq. 6).

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (\text{Eq. 6})$$

A_m é a área molhada (m^2);

P_m é o perímetro molhado (m).

Neste estudo, particularmente importante, é o raio hidráulico obtido para calha completa, ou seja, o raio hidráulico do *bankfull* (R_{bf}). De acordo com Kaufmann et al. (2008), aproximando os trechos medidos a uma forma parabólica ou trapezoidal e adotando a suposição que a largura é muito maior que a profundidade ($l/p > 20$), R_{bf} pode ser calculado pela Eq. 7.

$$R_{bf} \approx 0,65(d_{th} + h_{bf}) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

d_{th} é a média da profundidade do talvegue (m);

h_{bf} é a média da altura da calha completa – *bankfull* (m).

Quanto maior a área transversal em relação ao perímetro molhado, mais facilmente o escoamento acontece, porque mais distante estão algumas partículas da água em relação a calha que exerce atrito. Portanto, quanto maior o raio hidráulico maior a velocidade da água na seção.

A rugosidade da calha de um rio é um importante fator relacionado com transporte de sedimentos. Existem diversos tipos de rugosidades que dependem basicamente do ta-

manho das partículas que exercem obstrução ao escoamento. A rugosidade de pequena escala está relacionada ao atrito causado pelo tipo de substrato do leito. Normalmente considera-se substratos deste de silte até matacões.

A rugosidade média é obtida com a presença de madeiras e galhos que caem da mata ciliar. Finalmente, a rugosidade de grande escala ocorre devido à presença sequencial de piscinas e trechos rápidos ao longo de um trecho de rio (Figura 2).

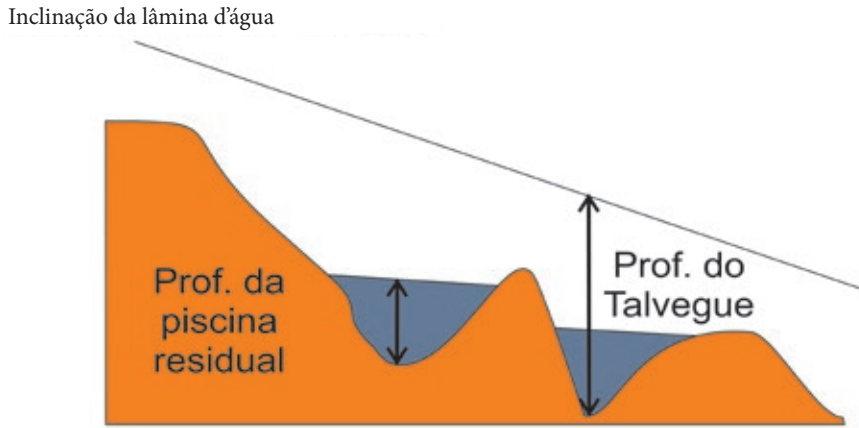


FIGURA 2 – Profundidade da piscina residual.

Os rápidos (*riffles*) ocorrem onde o leito do rio é relativamente mais alto que a elevação imediatamente a montante ou a jusante. Estes locais podem ser enxergados como se fossem “cristas”. Os locais relativamente mais profundos são considerados piscinas (*pools*). No fluxo normal, as velocidades do fluxo decrescem nas áreas de piscinas, permitindo a sedimentação de grãos finos, e crescem no topo dos rápidos (*riffles*) tendendo a aumentar a inclinação entre a crista e a piscina subsequente (FISRWG, 1998).

Tem-se então o conceito de piscinas residuais (*residual pool*). Este termo, de acordo com Lisle (1982), pode ser definido como a área no rio que pode conter água a vazão zero devido a um efeito de barramento da crista do rápido a jusante. Este pode ser interpretado como um índice da rugosidade hidráulica de larga escala.

A rugosidade do canal é um fator-chave que afeta a eficiência do transporte de sedimentos. O formato e o espaçamento de algumas unidades do canal, como rápidos e piscinas, são os maiores responsáveis por criar a resistência ao fluxo (Lisle, 1982).

As profundidades residuais das piscinas são calculadas nas elevações dos perfis do

talvegue por uma projeção horizontal do nível no sentido jusante-montante a partir do ponto de controle de cada piscina (crista) até que ela encontre uma elevação maior ou igual à elevação do ponto de controle (Figura 2).

O cálculo da profundidade residual depende de uma correção das cotas dos talvegues, medidas com os protocolos de avaliação. Esta correção (S') é obtida utilizando a inclinação da superfície d'água (Eq. 8)

$$S' = 0,12 + 0,25S \quad (\text{Eq.8})$$

Onde:

S é a inclinação;

Dadas as profundidades do talvegue e a declividade (S), a profundidade residual é calculada por processos de iteração. Como definido anteriormente, a condição estabelecida é que a elevação do leito seja igual ou superior à elevação anterior medida à jusante. Esta condição é atingida quando a profundidade medida é igual à profundidade anterior somada ao desnível (Eq. 9).

$$prof_{(i)} = prof_{(i-1)} + (S' \times \text{interval}) \quad (\text{Eq.9})$$

Quando a Eq. 9 é satisfeita, significa que foi encontrado o ponto em que a projeção horizontal do rápido interceptou o leito a montante. A partir deste ponto, a profundidade residual a montante pode ser calculada subtraindo-se da profundidade do talvegue a profundidade medida na crista (Eq. 10):

$$prof \text{ residual}_{(i)} = prof \text{ talvegue}_{(i)} - [prof \text{ talvegue}_{(i-1)} + (S' \times \text{interval})] \quad (\text{Eq.10})$$

Dados os valores obtidos na equação, são calculadas a profundidade residual média de cada trecho amostrado e comparado à sua relação com as partículas presentes no leito.

Métricas relacionadas ao transporte de sedimentos

O substrato de um determinado trecho de rio é um aspecto-chave para os habitats físicos de ecossistemas lóticos (Faustini & Kaufmann, 2007). Desta forma, os protocolos de avaliação rápida fazem o levantamento dos mesmos e posteriormente são calculadas métricas como porcentagem de finos (argila e siltes), de areia, cascalho entre outros subs-

tratos. Uma vez que as características dos substratos são indicadores sensíveis do efeito das atividades humanas (MacDonald et al., 1991), o monitoramento deles é essencial para análise da saúde de um rio.

As informações coletadas sobre o substrato também permitem calcular parâmetros médios e medianos do tamanho dos sedimentos encontrados num trecho, fornecendo uma medida de distribuição granulométrica das partículas. As métricas mais comuns relacionadas a estas medidas são o D_{50} e o D_{gm} . O primeiro é o segundo percentil do diâmetro do substrato encontrado num trecho de rio (mm). Já o diâmetro geométrico médio (D_{gm}) é obtido a partir do diâmetro médio de cada classe de substrato (Tabela 4). Este valor é colocado na base 10, ou seja, é logartimizado na base 10. Em seguida este é multiplicado pela porcentagem de ocorrência da sua classe de substrato no trecho. Finalmente é realizada a soma total destes valores por classe e obtém-se então a métrica $LSubDmm$. O D_{gm} (mm) é resultado da elevação da base dez (10) ao valor $LSubDmm$.

O segundo percentil do diâmetro (D_{50}) é a estatística mais comum para análises de partículas do leito (FISRWG, 1998), e também é o mais aplicado em estudos de sedimentos. Contudo, o D_{gm} foi proposto como a melhor estatística para o uso na avaliação de habitat e é a reportada nas análises de dados da US-EPA (Faustini & Kaufmann, 2007). Como verificado por Kaufmann et al. (2008), o D_{gm} possui melhor precisão na descrição de trechos classificados visualmente e o D_{50} sofre maior influência de partículas grandes.

Outra métrica importante para o transporte de sedimento é o índice de estabilidade do leito ($LRBS$), já explicado anteriormente. Este foi calculado para cada trecho estudado.

Métricas relacionadas ao uso e ocupação do solo

Para cada trecho amostrado, o protocolo da US-EPA avalia a presença e proximidade da influência humana sobre o curso d'água tais como paredes, diques, barragens, edificações, pavimentação, rodovias, tubos, aterros, lixos, estacionamentos, gramados, plantações, pastos, mineração, hospedagens. O índice de distúrbio próximo ponderado ($W1_{hall}$) é calculado (Kaufmann et al., 2008) através da contagem das observações na margem esquerda e direita de um determinado tipo de distúrbio (no tal são 11 classes de distúrbio), ponderando cada observação de acordo com sua proximidade e obtendo a média total dos 22 pontos (11 seções transversais com margem direita e margem esquerda) de observação ao longo do trecho (Kaufmann et al., 1999). Os impactos observados dentro do rio ou nas margens são ponderados com o fator 1,5; as observações dentro de um quadrado de 10 x

10 são ponderados com o peso 1 e finalmente os impactos visualizados, além da área de estudo recebem o peso 0,67. O índice de distúrbio próximo ponderado varia de 0 a 5, indo de baixo distúrbio a elevado distúrbio ripário (Kaufmann et al., 1999).

Métricas relacionadas à qualidade da vegetação ripária

A importância da vegetação ripária para estrutura da calha, entrada de nutrientes, presença de troncos nos rios, bem como sombra e consequente controle da temperatura é bem descrito na literatura (Naiman et al., 1988; Gregory et al., 1991). Especial atenção neste capítulo foi dada aos parâmetros relacionados à mata ripária, uma vez que esta é um indicador da estabilidade das margens (MacDonald et al., 1991).

Durante a aplicação do protocolo de avaliação rápida, foi utilizado um equipamento denominado densiômetro ao longo de 11 seções em cada trecho amostrado. Este instrumento possui um espelho esférico convexo com desenhos de 17 quadrados no mesmo. A medição consiste em contar quantos vértices dos quadrados foram ocupados pela vegetação espelhada atrás do observador.

Desta forma, o observador se posicionava em 3 lugares. O primeiro era no meio da calha do rio. Em seguida, o mesmo realizava a contagem dos quadrantes ocupados com vegetação nas quatro direções (montante, jusante, margem direita e margem esquerda). Estas medidas contribuíram para o cálculo do índice de cobertura da mata ripária sobre a calha do rio. As outras duas posições do observador eram fora do rio na margem esquerda e direita do rio. Ali era feita apenas uma leitura do densiômetro. Estas medidas eram necessárias para o índice de cobertura da mata ripária nas margens.

A métrica de cobertura da mata ripária sobre a calha do rio (*xcdenmid*) é na realidade a porcentagem média do cobertura, obtida a partir da média de 44 medidas para cada trecho e considerando o número total de quadrantes do densiômetro (17 quadrados). Já a métrica de cobertura da mata ripária (*xcdenbk*) nas margens foi obtida a partir da média de 22 medidas para cada trecho (margem esquerda e direita) e também considerando o número total de quadrantes do densiômetro (17 quadrados)

2.4 Análise estatística

A variação das métricas nos diferentes sites foi avaliada através de representações de gráficos estatísticos conhecidos como Box-Plot. A avaliação estatística da diferença das amostras foi realizada através do teste de Turkey e a significância estatística era indicada

através de p-valor igual ou menor do que 0,05. Também foi realizada uma análise de componente principal para três índices (*xcdenmid*, *W1_hall* e *LBRs*).

3 – RESULTADOS

As características morfológicas dos trechos de rio mostram que os sites amostrados são muito semelhantes (Figura 3), não ocorrendo diferenças estaticamente significativas.

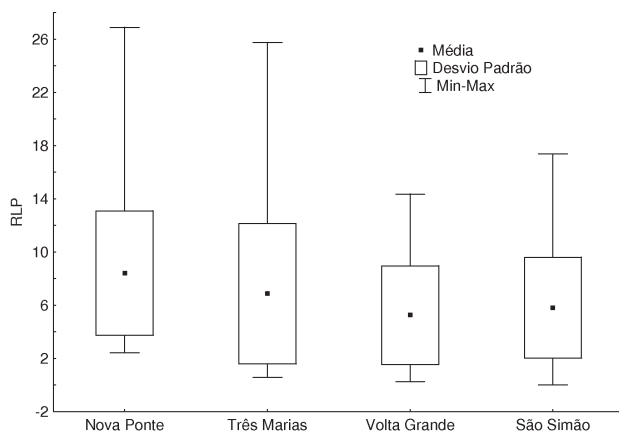


FIGURA 3 – Razão largura por profundidade dos trechos amostrados nas 4 regiões.

Já a porcentagem de finos foi significativamente diferente em Volta Grande (Figura 4), apresentando os trechos deste site menor porcentagem de finos. O contrário ocorreu com os trechos de Três Marias (Figura 4), cuja quantidade de finos foi significativamente maior que nos demais sites.

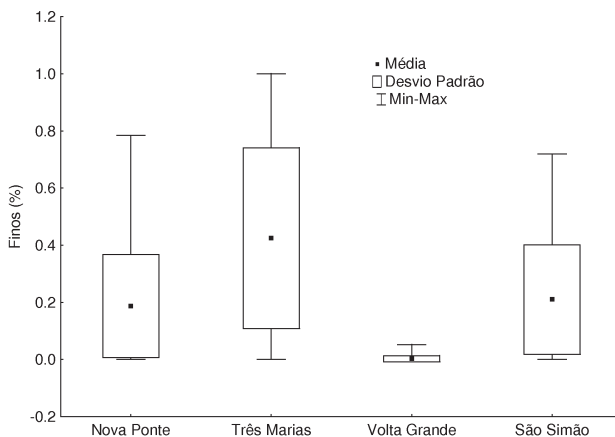


FIGURA 4 – Porcentagem de finos encontrados nas 4 regiões amostradas.

Com relação à capacidade de transporte de sedimentos dos trechos amostrados, Três Marias e Volta Grande apresentaram diâmetro crítico estaticamente semelhante (Figura 5). Entretanto, os trechos de Três Marias foram mais homogêneos com relação aos trechos de Volta Grande (menor desvio padrão).

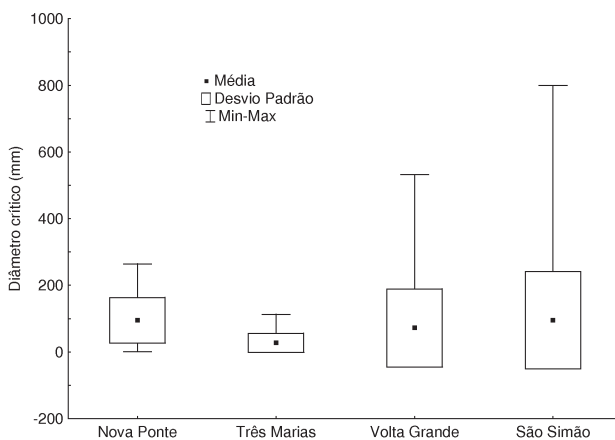


FIGURA 5 – Diâmetro crítico dos sedimentos encontrados nas 4 regiões amostradas.

O diâmetro geométrico médio (D_{gm}) não apresentou diferenças significativas entre os 4 sites amostrados (Figura 6). Entretanto, a região de Volta Grande apresentou maior variação nos diâmetros dos sedimentos encontrados. Nova Ponte, em termos de distribuição granulométrica, foi a região mais homogênea.

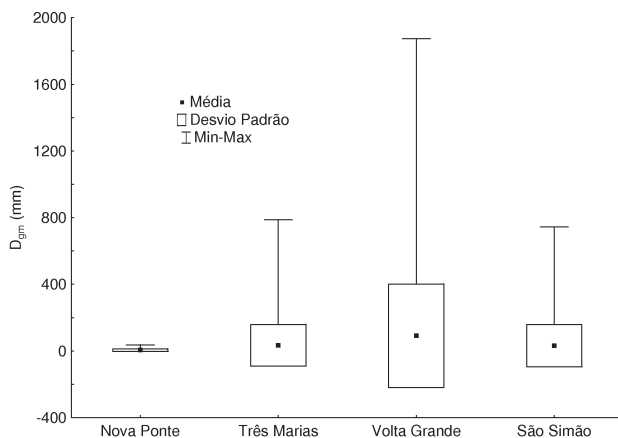


FIGURA 6 – Diâmetro geométrico médio dos sedimentos encontrados nas 4 regiões amostradas.

O D_{50} permitiu verificar que Nova Ponte teve trechos com sedimentos predominantemente finos e com grandes pedras (Figura 7). As demais regiões tiveram uma variabilidade maior em termos de diâmetro mediano de substrato.

A análise de estabilidade do leito ($LRBS$) mostrou que Volta Grande apresenta, na média, trechos mais estáveis do que a demais áreas (Figura 8). Esta região apresentou média diferente estaticamente em relação às demais. Apesar dos trechos em Três Marias e São Simão apresentarem em média uma melhor estabilidade ($LRBS$ médio próximo de zero), alguns trechos destas áreas apresentaram os piores $LRBS$ amostrados (mínimos nos Box-plots- Figura 8).

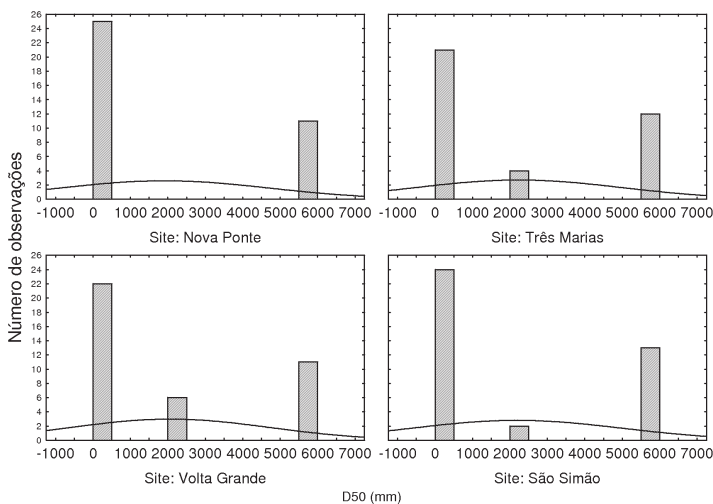


FIGURA 7 – D_{50} dos sedimentos encontrados nas 4 regiões amostradas.

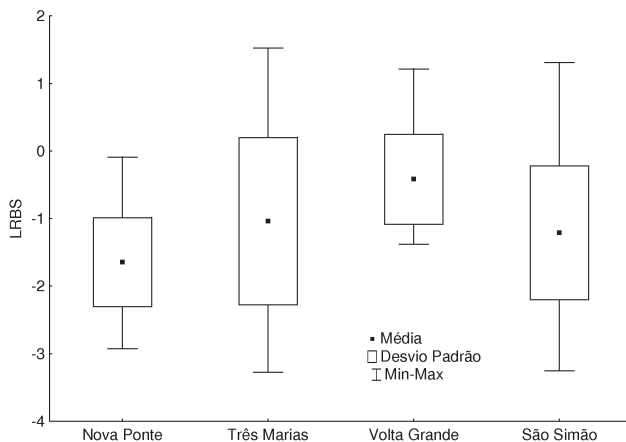


FIGURA 8 – Índice LRBS dos sedimentos encontrados nas 4 regiões amostradas.

Em geral, os trechos amostrados apresentaram tendência a agradação em termos de estabilidade do leito (Figura 9), já que o *LRBS* foi predominantemente negativo. Isto significa tendência a deposição de sedimentos.

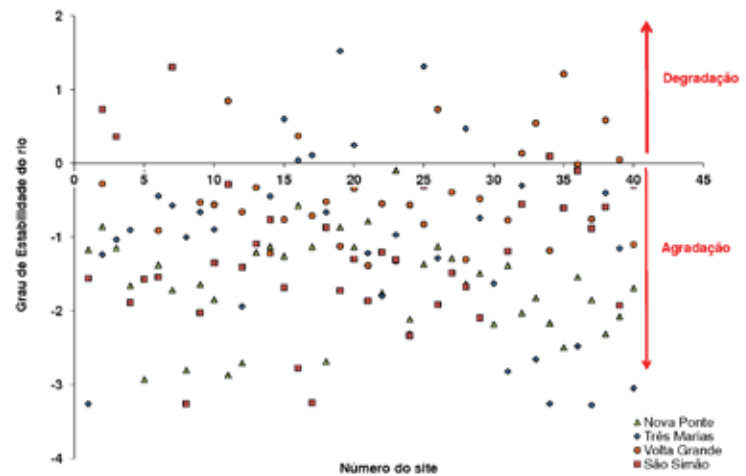


FIGURA 9 – Índice LRBS dos sedimentos por trecho de rio amostrado.

Com relação ao índice de distúrbio próximo ponderado, percebeu que em média a ação antrópica foi igual nas quatro regiões (Figura 10). Entretanto, a região de Três Marias apresentou valor superior extremo menor do que as demais áreas.

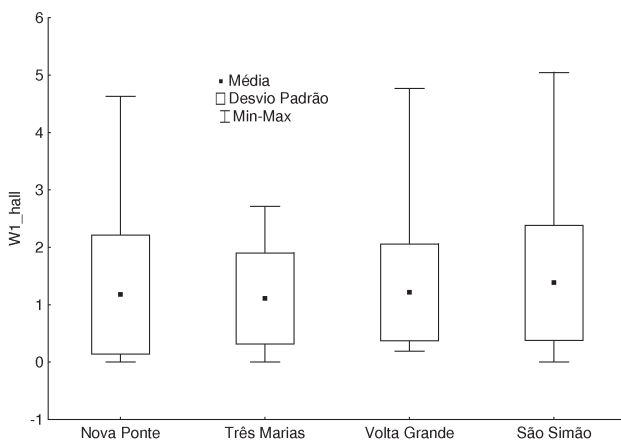


FIGURA 10 – Índice de distúrbio próximo ponderado para as 4 regiões amostradas.

Com relação à cobertura ripária, também não foi observada diferença significativa entre as regiões, nem em termos de cobrimento da calha quanto das margens (Figuras 11 e 12). Entretanto, os sites de São Simão e Nova Ponte apresentaram trechos com menor cobertura ripária tanto para calha como para as margens.

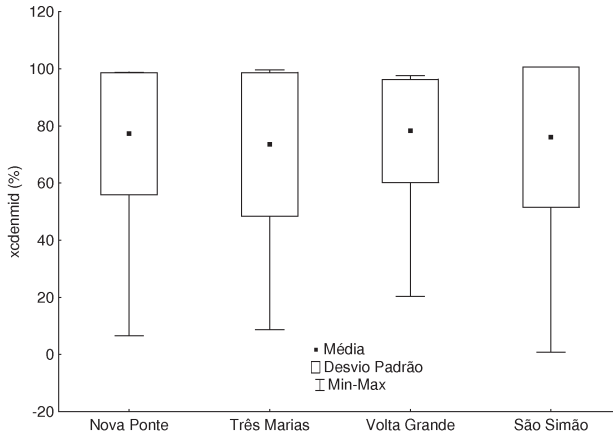


FIGURA 11 – Percentagem de cobrimento da mata ripária sobre a calha do rio nas 4 regiões amostradas.

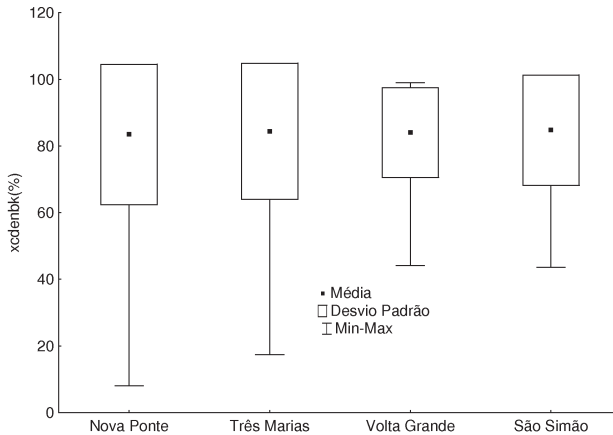


FIGURA 12 – Percentagem de cobrimento da mata ripária nas margens nas 4 regiões amostradas.

A análise de componente principal mostrou que a maioria dos trechos amostrados de Nova Ponte podem ser explicados pela cobertura ripária enquanto muitos trechos de Volta Grande tiveram grande correlação com a estabilidade do leito (Figura 13). Os índices de impacto antrópico ($W1_hall$) e cobertura ripária da calha ($xcdenmid$) compuseram o fator 2 e se correlacionaram com ele de maneira oposta, indicando que quanto maior o impacto antrópico, menor a cobertura ripária (Tabela 5).

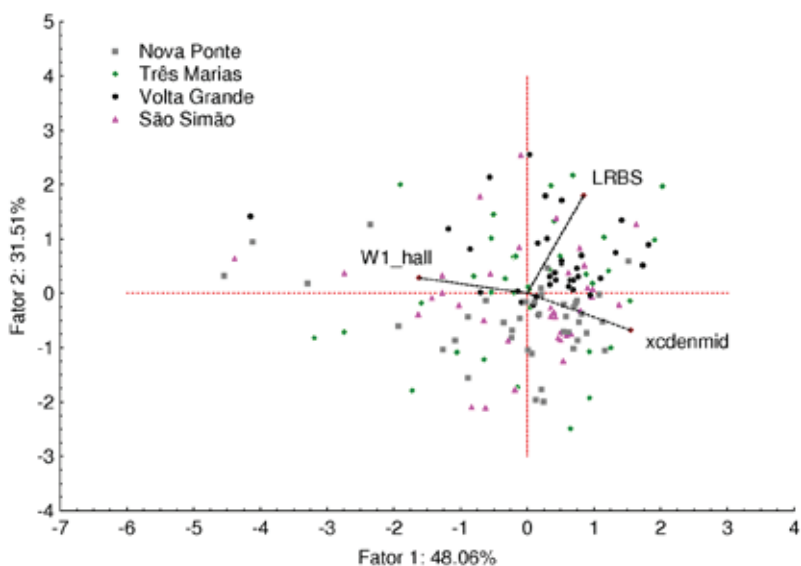


FIGURA 13 – Análise de componente principal para os índices de cobrimento da mata ripária sobre a calha ($xcdenmid$), estabilidade do leito (LRBB) e distúrbio próximo ponderado ($W1_hall$).

TABELA 5 – Fatores obtidos na análise de componente principal.

| | Fator 1 | Fator 2 | Fator 3 |
|------------|---------|---------|---------|
| $W1_hall$ | -0,81 | 0,14 | 0,56 |
| $Xcdenmid$ | 0,78 | -0,34 | 0,53 |
| LRBS | 0,42 | 0,90 | 0,11 |

4 – DISCUSSÃO

Os trechos de rios amostrados em Nova Ponte, Volta Grande, Três Marias e São Simão apresentaram diferenças nas principais métricas relacionadas ao transporte de sedimento. Em geral, a região de Volta Grande apresentou trechos mais estabilizados com relação aos processos de erosão e deposição. A análise de informações sobre o uso do solo indica que a área amostrada em Volta Grande possui principalmente a atividade de agricultura, enquanto as demais regiões apresentaram uma maior diversidade de usos. Soma-se o fato de a região de Volta Grande apresentar solo mais homogêneo predominantemente latossolo vermelho. Estes solos são bastante férteis (Tanaka et al., 1984) o que propicia o bom desenvolvimento de vegetação e conseqüentemente maior estabilidade nas entradas de sedimentos em rio.

Matas ciliares impedem elevada quantidade de sedimentos em corpos hídricos e mantém a uniformidade desses. Brito et al. (2009) constatou que em áreas de degradação da vegetação ripária por ação antrópica, os sedimentos apresentavam diferenças nos parâmetros granulométricos. As regiões de zonas ripárias bem preservadas apresentaram sedimentos típicos ou normais, franca tendência a serem aproximadamente simétricos e moderadamente selecionados.

A região de Nova Ponte por sua vez apresentou grande correlação entre o grau de preservação da mata ciliar e a estabilidade do leito. Esta área apresentou o pior índice médio de LRBS. Estas observações podem estar relacionadas também aos elevados índices pluviométricos e à presença de cambissolo, um solo mais frágil que o latossolo.

De uma forma geral, os protocolos de avaliação rápida fornecem importantes informações com relação ao transporte de sedimentos, principalmente quando aplicado em diferentes áreas. As informações como as obtidas neste capítulo permitem a gestores públicos tomarem decisões com relação a medidas de preservação de mata ciliar e observação do uso e ocupação no entorno de rios.

Informações como as aqui coletadas não são disponíveis na maioria das bacias brasileiras, o que dificulta a gestão de recursos hídricos no Brasil. Desta forma, o emprego de protocolos rápidos para fins de estudos sedimentológicos pode ser uma forma inicial de informações a respeito dos processos de sedimentação e erosão, que além de prejudicar inúmeras atividades econômicas também reduzem a disponibilidade de habitat dos ecossistemas aquáticos.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores deste capítulo são gratos aos demais colegas dos Laboratórios de Ecologia de Bentos da UFMG, Ictiologia da UFLA, do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas e Laboratório de Análise do Ambiente e Recursos Naturais do CEFET-MG pelo apoio em campo e laboratório. À Cemig –Programa Peixe Vivo pelo financiamento do projeto, CNPq e FAPEMIG pelo apoio na forma de bolsas. Somos especialmente gratos aos colegas norte-americanos Robert Mason Hughes e Philip Robert Kaufmann por apoiarem todas as atividades deste projeto.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, R.N.R.; ASP, N.E.; BEASLEY, C.R. & SANTOS, H.S.S. Características Sedimentares Fluviais Associadas ao Grau de Preservação da Mata Ciliar - Rio Urumajo, Nordeste Paraense. *Acta Amazônica*, v.39, n.1, p.173-180, 2009.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JR, N.P.; SANTO, P.M.C. & LIMA, J.E.F.W. *Guia de Práticas Sedimentométricas*. ANEEL. Brasília, 154p, 2000.

CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 60op, 2008.

CHOW, V.T. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Co.: New York, 1453 p, 1964.

FAUSTINI, J.M. & KAUFMANN, P.R. Adequacy of Visually Classified Particle Count Statistics from Regional Stream Habitat Surveys. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 43, n.5, p.1293-1315, 2007.

FISRWG. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. 15 Federal agencies of the US government, 1998.

GREGORY, S.V.; SWANSON, F.J.; MCKEE, W.A. & CUMMINS, K.W. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. *Bioscience*, v. 4, n.8, p.540-551, 1991.

HARDING, J.; CLAPCOTT, J.; QUINN, J.; HAYES, J.; JOY, M.; STOREY, R.; GREIG, H.; HAY, J.; JAMES, T; BEECH, M; OZANE, R.; MEREDITH, A. & BOOTHROYD, I. *Stream Habitat Assessment Protocols for wadeable rivers and streams of New Zealand*. School of Biological Sciences, University of Canterbury, New Zealand: Christchurch, 133p, 2009.

KAUFMANN, P.R.; LEVINE, E.G.; ROBISON, C.S. & PECK, D.V. *Quantifying Physical Habitat in Wadeable Streams*, U.S. Environmental Protection Agency, Estados Unidos: Washington, D.C., 149 p, 1999.

KAUFMANN, P.R.; FAUSTINI, J.M.; LARSEN, D.P. & SHIRAZI, M.A. A Roughness-Corrected Index of Relative Bed Stability for Regional Stream Surveys. *Geomorphology*, v.99, p.150-170, 2008.

LISLE, T.E. Effects of Aggradation and Degradation on Riffle-Pool Morphology in Natural Gravel Channels, Northwestern California. *Water Resources Research*, v.18, n.6, p.1643-1651, 1982.

MACDONALD, L.H.; SMART; A.W. & WISSMAR, R.C. *Monitoring Guidelines to Evaluate Effects of Forestry Activities on Streams in the Pacific Northwest and Alaska*. U.S. Environmental Protection Agency, Seattle: Washington, 166 p, 1991.

MADDOCK, I. The Importance of Physical Habitat Assessment for Evaluating River Health. *Freshwater Biology*, v.41, p.373-391, 1999.

MARENGO, J.A. *Caracterização do Clima no Século XX e Cenários no Brasil e na América do Sul para o Século XXI Derivados dos Modelos de Clima do IPCC*. CPTEC/INPE – São Paulo: São Paulo, 181p, 2007.

MAZEIKA, S.; SULLIVAN, P; WATZIN, M.C.; HESSION, W. C. Influence of Stream Geomorphic Condition on Fish Communities in Vermont, U.S.A. *Freshwater Biology*, v.51, p.1811-1826, 2006.

MINAS GERAIS, *Ministério da Integração Nacional, Plano diretor de agricultura irrigada do estado de Minas Gerais – PAI-MG*. Brasília. 2010.

NAIMAN, R.J.; DECAMPS, H.; PASTOR, J. & JOHNSTON; C.A. The Potential Importance of Boundaries to Fluvial Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, v.7, n.4, p.289-306, 1988.

OLIVEIRA, S.V. & CORTES, R.M.V. A Biologically Relevant Habitat Condition Index for Streams in Northern Portugal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v.15, p.189–210, 2005.

RODRIGUES, S.C. Impacts of Human Activity on Landscapes in Central Brazil: A Case Study in the Araguari Watershed. *Australian Geographical Studies*, v. 40, n.2, p.167–178, 2002.

STACK, W.R. *Factors Influencing Pool Morphology in Oregon Coastal Streams*. 1989. 109 f. Tese de doutorado- Oregon State University, 1989.

TANAKA, A.; SAKUMA, T.; OKAGAWA, N.; IMAI, H. & OGATA, S. *Agroecological condition of the oxisol-ultisol area of the Amazon river system (report of a preliminary survey)*. Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo: Ogo, 101p, 1984.

VTDEC. *Stream Geomorphic Assessment Handbook: Rapid Stream Assessment – Appendix O*. Vermont Agency of Natural Resources, Water Quality Division, Waterbury, VT, U.S.A. 2001.

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 6

MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM RIACHOS DE CABECEIRA: MÚLTIPLAS ABORDAGENS DE ESTUDOS ECOLÓGICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

RAPHAEL LIGEIRO, WANDER FERREIRA,
DIEGO CASTRO, KELE R. FIRMIANO,
DÉBORAH SILVA & MARCOS CALLISTO

LIGEIRO, R.; FERREIRA, W.; CASTRO, D.; FIRMIANO, K. R. ; SILVA, D. & CALLISTO, M. Macroinvertebrados bentônicos em riachos de cabeceira: múltiplas abordagens de estudos ecológicos em bacias hidrográficas. 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, v. 1, p. 127-160, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – O QUE SÃO MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS E QUAL A IMPORTÂNCIA DE ESTUDÁ-LOS PARA ENTENDER SOBRE ECOLOGIA DE RIACHOS?

Os ambientes aquáticos continentais, incluindo os riachos, abrigam muitas formas de vida em diferentes compartimentos dos ecossistemas. Alguns organismos vivem na interface água-atmosfera, aproveitando a tensão superficial para sua sustentação (organismos do *plêuston*). Outros são transportados na coluna d'água, seja à deriva (organismos do *plâncton*) ou livre-natantes (organismos do *nécton*). Finalmente, alguns vivem no fundo dos ecossistemas aquáticos e são chamados de organismos bentônicos (da palavra grega *benthos*, que significa “fundo”). Dentre estes, os macroinvertebrados bentônicos são animais (p.ex., insetos, crustáceos, anelídeos, moluscos, dentre outros) com tamanho de corpo superior a 0,5 mm, que podem usualmente serem vistos a olho nu (Esteves et al., 2011).

Os macroinvertebrados bentônicos desempenham importantes funções na manutenção de processos ecológicos em riachos incluindo: (i) participam ativamente da degradação da matéria orgânica (material morto animal e vegetal) que se acumula no leito dos riachos; (ii) são elos importantes nas teias tróficas aquáticas, frequentemente disponibilizando os nutrientes e a energia transferidos de organismos menores e de detritos orgânicos para níveis tróficos superiores (p.ex., assembleias de peixes, anfíbios e outros invertebrados); (iii) são importantes na ciclagem de nutrientes, liberando nutrientes estocados no compartimento sedimentar para a coluna d'água através de bioturbação.

Além de sua importância ecológica, as assembleias de macroinvertebrados bentônicos também desempenham papel de destaque como bioindicadoras de condições ecológicas em riachos (Callisto et al., 2001). Perturbações humanas nos ecossistemas aquáticos ou em suas áreas de entorno alteram as condições ecológicas dos riachos e sua biodiversidade. O estudo da composição e estrutura de assembleias de macroinvertebrados permite avaliar a integridade (“saúde”) dos ecossistemas como um todo (Norris & Thoms, 1999). Os macroinvertebrados bentônicos possuem diversas características que os fazem bons indicadores de condições ecológicas: (i) possuem espécies com diferentes níveis de tolerância a alterações ambientais e que respondem a um amplo gradiente de distúrbios antropogênicos; (ii) são, em sua maioria, sésseis ou de baixa mobilidade, refletindo as condições ecológicas dos locais avaliados; (iii) possuem ciclos de vida relativamente longos, possibilitando estudos de diagnóstico ambiental em amplas escalas temporais; (iv) são relativamente grandes e fáceis de amostrar.

As comunidades de macroinvertebrados bentônicos atuam como eficientes bioindicadoras de qualidade de água em estudos de avaliação integrada de qualidade ambiental em bacias hidrográficas, onde considera-se um gradiente de condições ambientais desde áreas de referência até locais severamente impactados. Alguns grupos de macroinvertebrados são sensíveis a alterações de origem humana, vivendo preferencialmente em trechos de rios minimamente alterados por lançamentos de esgotos e poluentes, assoreamento e desflorestamento de zonas ripárias. No outro extremo do gradiente de condições ambientais há os macroinvertebrados que são resistentes a alterações em parâmetros físicos e químicos de qualidade de água e sedimento, suportando situações adversas e desfavoráveis (p.ex., hipoxia, anoxia, pH muito baixo ou muito alto, etc). Em uma posição intermediária de bioindicação, alguns grupos são tolerantes, vivendo em locais onde se observam pequenas mudanças devido a atividades humanas (Figura 1). O estudo de comunidades bentônicas como bioindicadoras de qualidade de água em bacias hidrográficas não se restringe apenas à observação pontual de uma ou poucas espécies, mas sim faz uso de diversas métricas de diversidade, “traits” funcionais e outras características ecológicas das assembleias de macroinvertebrados (Figura 2).

O objetivo deste capítulo é discutir abordagens de estudos ecológicos de comunidades de macroinvertebrados bentônicos em riachos, tanto no âmbito da “pesquisa básica”, destinada ao entendimento das interações entre os macroinvertebrados e seu meio, quanto no âmbito do uso dos macroinvertebrados como bioindicadores de qualidade ambiental. São apresentados resultados de estudos realizados entre 2009 e 2013 em bacias hidrográficas dos reservatórios hidrelétricos dos reservatórios de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão (MG). Foram incluídas a descrição de procedimentos amostrais, tratamento de dados e indicação de algumas análises estatísticas usualmente utilizadas.

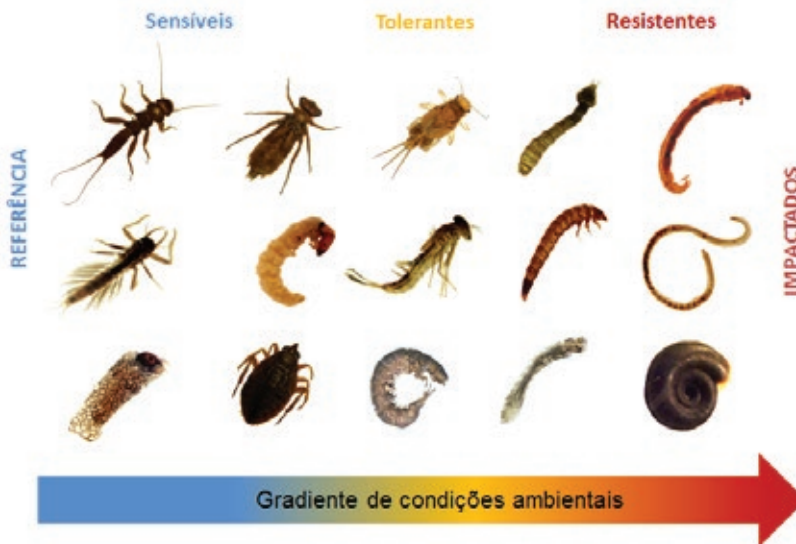


FIGURA 1 – Bases conceituais da utilização de comunidades de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadoras em um gradiente de condições ambientais.



FIGURA 2 – Exemplos de como a riqueza (R), diversidade (H') e densidade (Ind/m^2) de macroinvertebrados bentônicos podem ser utilizadas como métricas biológicas em estudos avaliando gradientes de condições ambientais.

2 – METODOLOGIAS DE ESTUDO

2.1 Coleta e processamento de amostras

Em campo foi utilizada uma metodologia de amostragem padronizada e eficiente em representar a diversidade de condições locais dos riachos, incluindo os diferentes tipos de substratos (p.ex., areia, cascalho) e fluxos superficiais da água (p.ex., poções, corredeiras). Foram coletadas 11 amostras de macroinvertebrados por riacho (vide Capítulo 2), totalizando 1.760 amostras nos 160 riachos estudados. Um coletor do tipo “kick-net” (30 cm de abertura, 500 μm de malha, área de 0,09 m^2) foi utilizado na coleta dos organismos bentônicos (Figura 3A). Cada amostra foi colocada em um saco plástico e fixada com 50 ml de formalina 10%, evitando perda de organismos por decomposição ou ocasional predação. As amostras foram devidamente etiquetadas e levadas ao Laboratório de Ecologia de Bentos/UFMG.



FIGURA 3 – Coleta de macroinvertebrados bentônicos utilizando o amostrador “kick-net” (A). Lavagem das amostras sobre peneira de 500 μm (B). Triagem em bandeja sobre caixas de luz (C). Identificação dos organismos em microscópio estereoscópico (D).

Posteriormente, foram lavadas sobre peneira de 500 µm de malha para separar partículas menores (lama, areia e partículas orgânicas muito finas) e facilitar a triagem dos organismos (Figura 3B). Os macroinvertebrados foram triados em bandejas sobre caixa de luz (Figura 3C) e depois identificados em microscópio estereoscópico (aumento de 32x) com o auxílio de chaves de identificação (Pérez, 1988; Merritt & Cummins, 1996; Fernández & Domínguez, 2001; Costa et al., 2006; Mugnai et al., 2010) (Figura 3D). A identificação dos organismos foi realizada até o nível taxonômico de família, exceto os Bivalvia, Hydracarina, Hirudinea, Nematoda e Collembola. Os insetos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) foram identificados até o nível de gênero.

2.2 Armazenamento e tratamento de dados biológicos

Tão importante quanto o uso de metodologias de amostragem apropriadas e o rigor nas identificações taxonômicas é a armazenagem e tratamento correto de dados biológicos. O primeiro registro de dados é normalmente realizado em cadernos onde são anotadas as identidades taxonômicas dos organismos e o número de indivíduos encontrados à medida que as amostras são processadas. Concomitante a isso, as informações desses registros devem ser transpostas para planilhas digitais. O programa Excel (disponível nas plataformas Microsoft Windows e Mac) suporta perfeitamente os volumes de dados na maior parte dos estudos acadêmicos. O mais aconselhável é que essa transposição seja realizada aos poucos e sempre em duplas de pesquisadores, assegurando a acuracidade do processo e a confiabilidade dos dados que serão posteriormente analisados. A integridade dos dados é preservada mantendo-se a cópia física original em local seguro e periodicamente armazenando cópias de restauração (*backups*) dos arquivos digitalizados (Figura 4).

Uma planilha biológica típica possui as amostras (diferentes locais, transectos, etc) dispostas nas linhas e os táxons dispostos nas colunas (Figura 4). As quantidades de cada táxon em cada amostra podem ser expressas por meio do número, densidade ou biomassa de indivíduos. É comum que as planilhas de dados biológicos sejam posteriormente formatadas para utilização de programas estatísticos, ou que fórmulas, anotações, transformações dos dados e novas variáveis sejam progressivamente adicionadas à planilha à medida que são realizadas as análises. A recomendação é que sempre se mantenha uma planilha original não alterada, que servirá como padrão. Todas as análises devem então partir dessa planilha original (Figura 4), sendo salvas separadamente (com nomes

diferentes) e assim evitando erros acidentais que possam ocorrer ao conjunto de dados original à medida que as planilhas vão sendo modificadas.

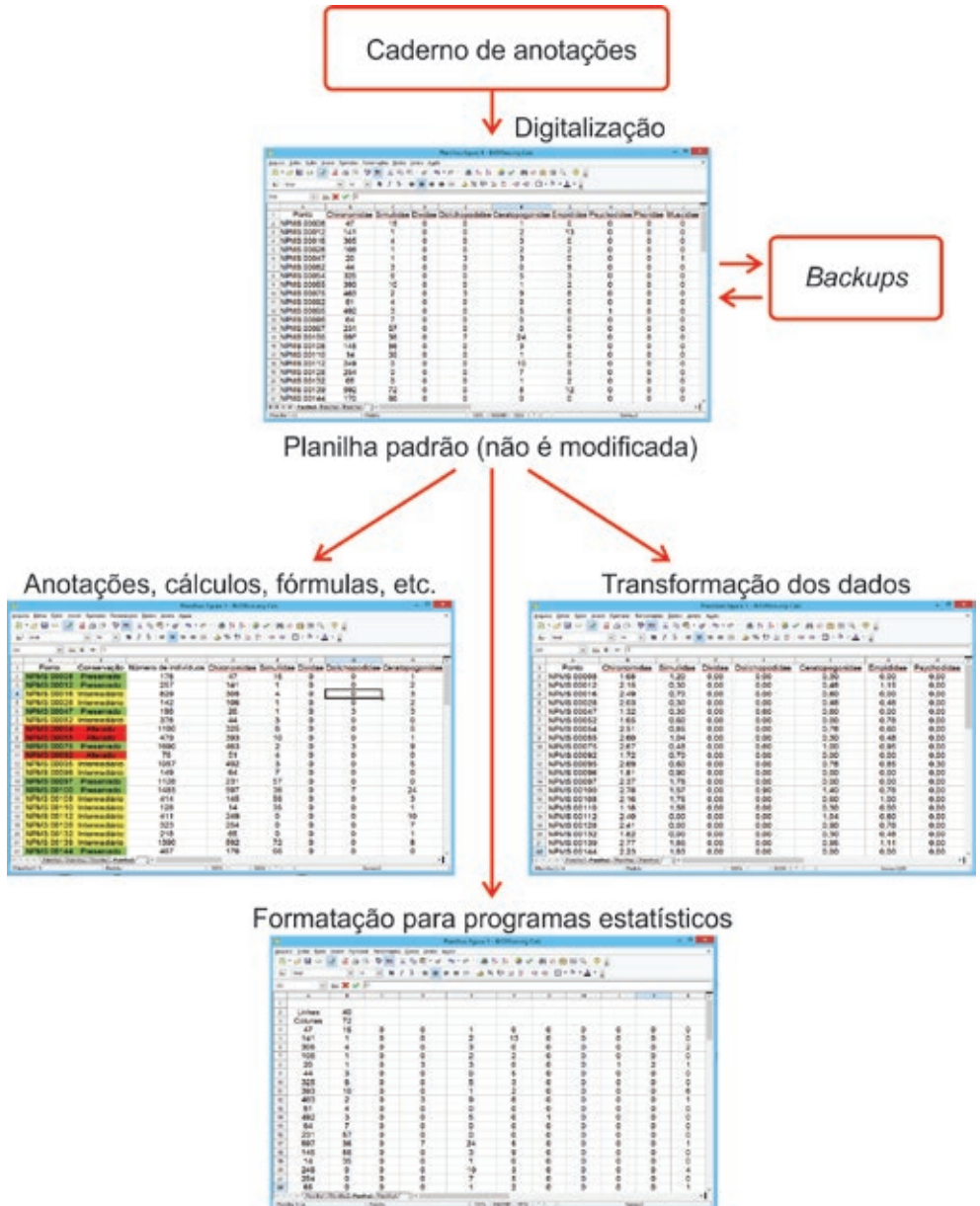


FIGURA 4 – Fluxograma de organização, armazenamento e análise dos dados. Especial ênfase é dada à manutenção da integridade dos dados nas diferentes fases do processo.

2.3 Análise de dados

São muitos os tipos de informações que podem ser exploradas dos conjuntos de dados biológicos, a escolha dependendo do objetivo do estudo e das perguntas ecológicas formuladas. Resumidamente apresentaremos as rotinas e análises básicas que utilizamos no projeto IBI-Cemig e que são frequentes em outros estudos com macroinvertebrados.

Os procedimentos estatísticos dividem-se, basicamente, em *análises exploratórias* e *análises de inferência estatística*. Em estudos de ecologia de comunidades, as análises do primeiro grupo objetivam descrever padrões gerais de estrutura e composição de assembleias (Mingoti, 2005). Incluem-se nessa categoria as *curvas do coletor*, que avaliam a suficiência de amostragens em representar a riqueza taxonômica e *histogramas de abundância relativa* das espécies, que descrevem os padrões de dominância e raridade nas assembleias. Ordenações como o *escalonamento multidimensional* (MDS) e a *análise de componentes principais* (PCA), entre outras, propõem-se a gerar gradientes para avaliar tendências a agrupamentos em conjuntos de variáveis biológicas ou de habitats. As análises de correspondência canônica (CCA) e outras similares buscam relacionar os dados biológicos às variáveis abióticas mensuradas, sendo úteis para elucidar os fatores que governam as composições das assembleias.

As *análises de inferência estatística* buscam interpretar diferenças entre grupos ou relações de dependência entre variáveis por meio de testes de hipóteses (Gotteli & Ellison, 2004). Nesse grupo incluem-se os diversos modelos de *análises de variância* (ANOVAs) e as diversas formas de *regressões* (*simples*, quando apresentam apenas um preditor, ou *múltiplas*, quando apresentam dois ou mais preditores), todas incluídas na categoria mais geral de *modelos lineares*. Há também os testes de hipóteses baseados em matrizes de similaridade/dissimilaridade, como a *análise de variância permutacional multivariada* (PERMANOVA) e a *análise de similaridade* (ANOSIM), destinados a diferenciar grupos definidos *a priori* quanto a um conjunto de dados multivariados (composição taxonômica, por exemplo).

3 – ABORDAGENS DE ESTUDOS ECOLÓGICOS UTILIZADAS NO PROJETO IBI-CEMIG

3.1 Composição da fauna de macroinvertebrados nos riachos das bacias de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão

Em todos os 160 riachos amostrados ao longo dos 4 anos de projeto foram coletados um total de 229.321 indivíduos, distribuídos em 96 táxons. Considerando todas as bacias conjuntamente, as ordens Diptera, Ephemeroptera e Coleoptera foram as mais representativas (55,8%, 17,7% e 10,8%, respectivamente). A ordem Diptera é a mais diversa dentre os insetos aquáticos, com espécies presentes em praticamente todos os tipos de ecossistemas de água doce, e mesmo em costões rochosos de praias junto ao mar. Os Diptera possuem ampla distribuição e são encontrados desde ambientes preservados até ambientes extremamente impactados. Esse grupo possui diferentes adaptações à respiração aquática, capacidade de explorar diversos recursos alimentares e, em grande parte, ciclos de vida curtos, o que os tornam eficientes colonizadores (Ward, 1992). A ordem Ephemeroptera constitui um dos mais diversos grupos de macroinvertebrados, sendo algumas espécies restritas a viverem em águas de boa qualidade (Callisto et al., 2001). As ninfas desta ordem são exclusivamente aquáticas e os adultos têm uma vida aérea muito curta, característica que dá nome à ordem. A ordem Coleoptera é a maior ordem de insetos em número total de espécies, sendo também abundante e diversa entre os macroinvertebrados de água doce (Segura et al., 2011.) Alguns grupos, como Gyrinidae e Hydrophilidae, apresentam todo o ciclo de vida na água (Esteves et al., 2011).

Nos riachos da bacia do reservatório de Nova Ponte foram coletados 23.356 organismos, distribuídos em 70 táxons. A família Chironomidae foi a mais abundante, seguida por Elmidae e Simuliidae (Figura 5). Dentre os demais grupos, cabe ressaltar a presença representativa da família Gripopterygidae (Ordem Plecoptera). As ninfas deste grupo são muito sensíveis a perturbações ambientais e, assim como espécies de Ephemeroptera e Trichoptera, são bons indicadores de águas de boa qualidade (Esteves et al., 2011), além de serem potenciais fragmentadoras de detritos foliares.

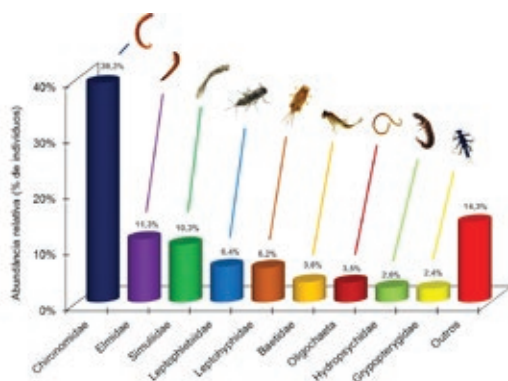


FIGURA 5 – Abundância relativa das principais famílias encontradas nos riachos que drenam para o reservatório de Nova Ponte, bacia do rio Araguari, MG.

Na bacia do reservatório de Três Marias foram coletados 72.973 organismos, distribuídos em 80 táxons. A família Chironomidae foi a mais abundante, seguida por Simuliidae e Baetidae (Figura 6). Dentre as 4 bacias estudadas, nesta foi observada a maior riqueza de famílias, porém com uma forte representatividade de organismos tolerantes à poluição, como Bivalvia, Oligochaeta e Ceratopogonidae.

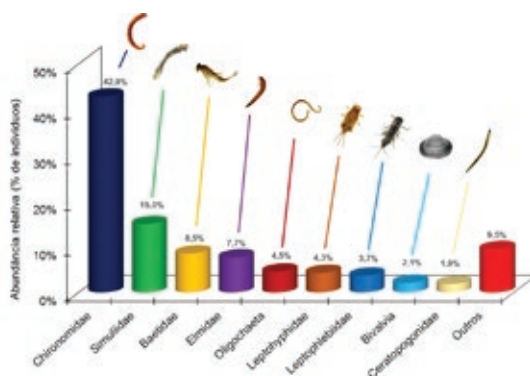


FIGURA 6 – Abundância relativa das principais famílias encontradas nos riachos que drenam para o reservatório de Três Marias, bacia do rio São Francisco, MG.

Nos riachos da bacia do reservatório de Volta Grande foram coletados 76.582 organismos, distribuídos em 71 táxons. A família Chironomidae foi a mais abundante, seguida por Oligochaeta e Simuliidae (Figura 7).

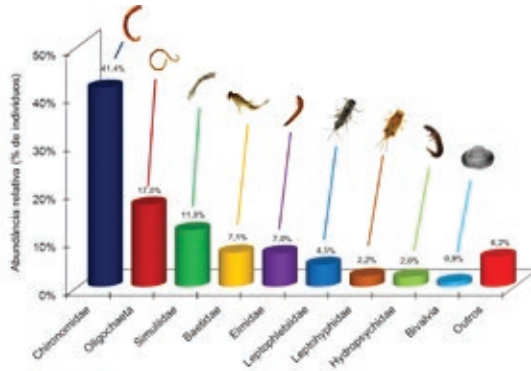


FIGURA 7 – Abundância relativa das principais famílias encontradas nos riachos que drenam para o reservatório de Volta Grande, bacia do rio Grande, MG.

Na bacia do reservatório de São Simão foram coletados 56.410 organismos, distribuídos em 71 táxons. Chironomidae foi a família mais abundante, respondendo por quase metade de toda a fauna bentônica (Figura 8).

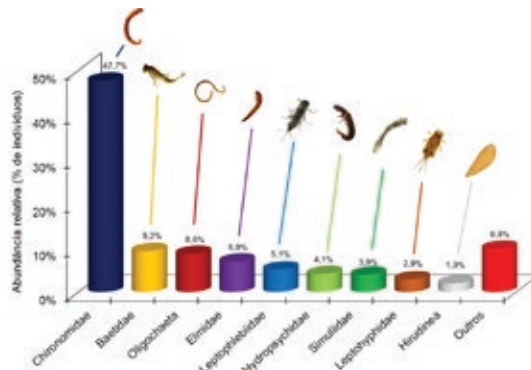


FIGURA 8 – Abundância relativa das principais famílias encontradas nos riachos que drenam para o reservatório de São Simão, bacia do rio Paranaíba, MG.

3.2 Eficiência amostral no inventário de macroinvertebrados bentônicos

A análise da riqueza taxonômica, através da contagem do número de táxons em uma determinada área, é uma maneira simples e intuitiva de caracterizar a diversidade de assembleias biológicas (Gotelli & Colwell, 2001). A riqueza de espécies é influenciada por variações naturais no ambiente e por distúrbios de origem antrópica (Rosenberg & Resh, 1993). É uma métrica amplamente utilizada em estudos de biodiversidade, caracterizando-se como importante ferramenta para gestão de áreas protegidas, e um conceito fundamental em ecologia de comunidades (Melo, 2008).

Apesar de constituir uma medida importante de biodiversidade, a riqueza taxonômica observada em um dado local ou região depende do número de amostras e de indivíduos coletados. Através de curvas de acumulação de espécies (ou curvas do coletor) podemos observar de forma simples como a riqueza de espécies varia de acordo com o esforço amostral. Na Figura 9 são apresentadas as curvas de acumulação de famílias observadas em função do número de riachos amostrados em cada bacia estudada. Observa-se padrão semelhante nas curvas das bacias dos reservatórios de Nova Ponte, Volta Grande e São Simão, que apresentaram riqueza de famílias próxima a 70 táxons. Na bacia de Três Marias o número de famílias foi maior, sendo que a acumulação de táxons também ocorreu de forma mais rápida. Como os macroinvertebrados constituem um grupo extremamente diverso, possuem pequeno tamanho corporal e múltiplas estratégias de utilização de recursos alimentares, de fato não era esperado alcançar a estabilização nas curvas de riqueza observada. A megadiversidade de macroinvertebrados bentônicos leva à necessidade de estudos de inventários biológicos de longo prazo.

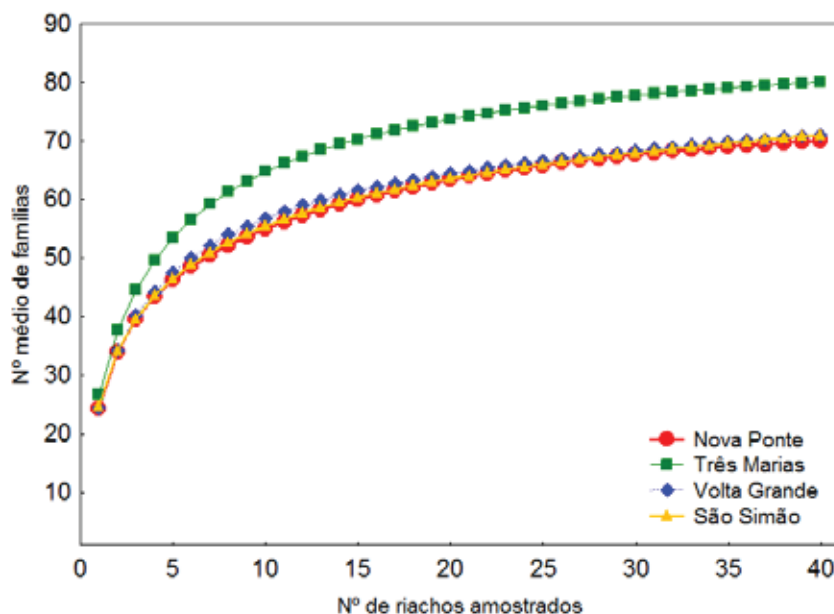


FIGURA 9 – Riqueza de famílias observadas em função do número de riachos amostrados nas bacias que drenam os reservatórios de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão, MG.

3.3 Mensuração de níveis de perturbação antrópica em riachos

O monitoramento biológico tem como objetivo avaliar a intensidade e o ritmo com que os ecossistemas aquáticos são alterados por atividades humanas, constituindo-se em importante ferramenta de gestão de recursos hídricos e conservação da biodiversidade (Marchant et al., 2006). O desenvolvimento de indicadores ecológicos de vários tipos depende primeiramente da definição de locais minimamente alterados por atividades humanas que representem condições de referência para serem comparadas com os demais locais (Hughes et al., 1986). Muitas vezes não é possível encontrar em uma dada região locais em condições pristinas ou próximas disso. Nesses casos, os locais menos perturbados (“melhores possíveis”) são considerados como as condições de referência regionais (Stoddard et al., 2006). Em alguns casos, a comparação entre as assembleias dos locais mais e menos perturbados em uma bacia hidrográfica identificará as métricas biológicas mais afetadas pelos distúrbios antrópicos, subsidiando a proposição de índices biológicos de avaliação de qualidade ambiental.

Frequentemente, os estudos ecológicos que consideram locais mais e menos perturbados utilizam apenas definições subjetivas para caracterizar as condições ecológicas, por meio de critérios pessoais dos pesquisadores ou pela opinião de especialistas, sem o uso de critérios quantitativos. Em um estudo realizado nos riachos das bacias dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias, Ligeiro et al. (2013) elaboraram um índice de distúrbio que descreve quantitativamente o gradiente de perturbação nos riachos. O Índice de Distúrbio Integrado (IDI) analisa simultaneamente distúrbios em escala regional, considerando diferentes usos do solo nas bacias de drenagem de cada riacho (p.ex., % área agrícola, % área urbana), e também distúrbios em escala local, considerando distúrbios no leito dos riachos e em suas zonas ripárias (p.ex., presença de lixo, manilhas, construções). A consideração conjunta das escalas regional e local é importante uma vez que distúrbios atuando em ambas as escalas podem afetar negativamente os habitats fluviais e as assembleias de organismos aquáticos. Com a aplicação do IDI foi constatado que tanto os distúrbios regionais quanto os locais diminuíram a riqueza taxonômica de macroinvertebrados bentônicos nas bacias estudadas (Ligeiro et al., 2013).

A Figura 10 apresenta um plano de distúrbio cujos eixos representam as intensidades de alterações antrópicas sofridas pelos riachos nas duas escalas espaciais abordadas. O IDI foi então calculado como a distância euclidiana de cada riacho à origem do plano, onde o nível de distúrbio é zero nas duas escalas. Assim, quanto mais distante da origem

do plano, mais perturbado é o riacho. Como pode ser notado na Figura 10, em geral os riachos na bacia do reservatório de Nova Ponte estavam mais distantes da origem do plano (tiveram maiores valores de IDI) do que os riachos na bacia do reservatório de Três Marias, demonstrando uma maior degradação das condições ecológicas. Isso pode ser explicado pela maior presença de áreas agrícolas nas bacias de drenagem dos riachos de Nova Ponte, fontes de muitos tipos de impactos sobre os ecossistemas aquáticos. Como consequência, o distúrbio antrópico foi o principal fator a explicar a riqueza taxonômica de macroinvertebrados bentônicos nos riachos de Nova Ponte. Por outro lado, na bacia do reservatório de Três Marias a variabilidade natural dos habitats físicos foi o principal estruturador da riqueza das assembleias de organismos bentônicos (Ligeiro et al., 2013).

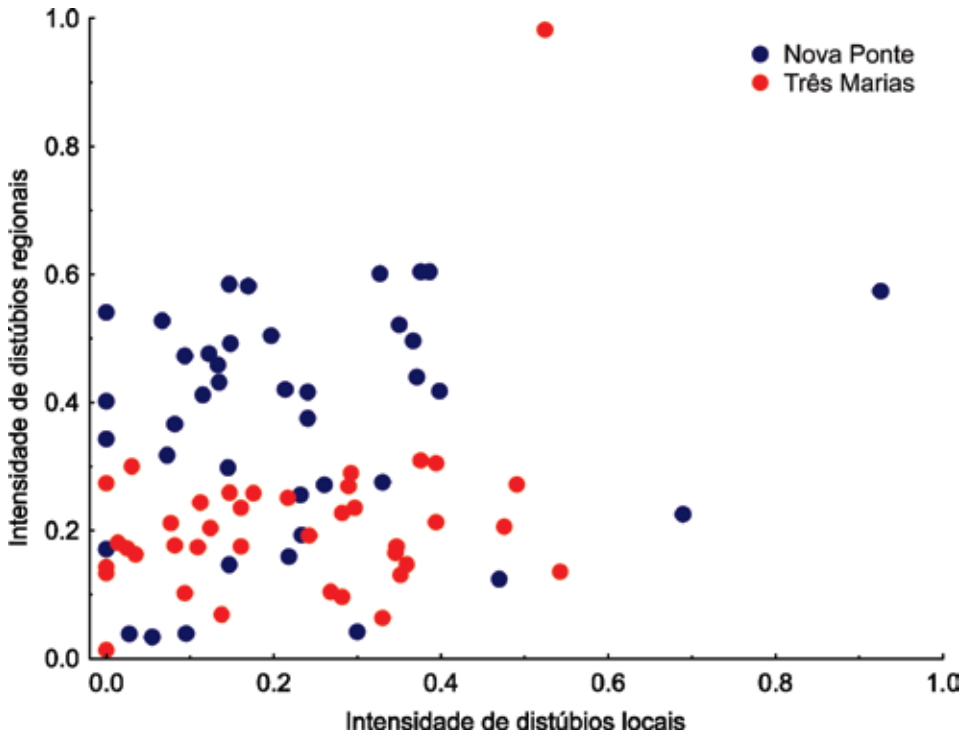


FIGURA 10 – Plano de distúrbio mostrando a intensidade de distúrbios antrópicos sofrida pelos riachos que drenam os reservatórios de Nova Ponte e Três Marias nas escalas espaciais local e regional.

3.4 Características de habitats físicos que estruturam a riqueza de EPT

Os insetos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT, Figura 11) são sen-

síveis às mudanças decorrentes das atividades humanas, e muitos gêneros são indicadores de boa qualidade de água (Callisto et al., 2001; Ferreira et al., 2011). Portanto, observa-se que alterações no ambiente físico, com consequente perda de habitats, podem afetá-los negativamente. Por exemplo, a retirada da vegetação ripária aumenta o assoreamento dos riachos devido à erosão das margens e ao escoamento superficial de sedimentos. Isso reduz a diversidade de habitats e a disponibilidade de refúgio e recursos alimentares para os EPT.

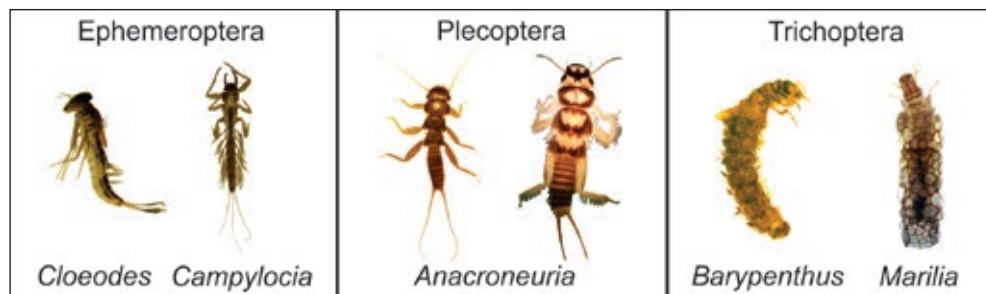


FIGURA 11 – Exemplos de gêneros de insetos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT).

Para a conservação de riachos de cabeceira é fundamental o entendimento das interações entre fatores do ambiente (p.ex., habitats físicos e composição química da água) e as assembleias de organismos aquáticos. Os macroinvertebrados bentônicos são organismos recomendados para avaliações de mudanças nos ecossistemas aquáticos pois apresentam estreita relação com fatores ambientais atuando em várias escalas espaciais e temporais. Características relacionadas a componentes estruturais, como a variedade de substratos no canal de riachos, a variação hidráulica e os tipos de fluxos superficiais influenciam a composição, estrutura, diversidade, e a estabilidade temporal de assembleias aquáticas, sendo também importantes para manter a integridade dos processos ecológicos (Kaufmann & Faustini, 2012).

Nas bacias dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias foi estudada a relação entre a riqueza e a composição taxonômica de gêneros de EPTs com a estrutura de habitats físicos e parâmetros físicos e químicos de qualidade de água (Ferreira et al., 2014). Neste estudo foi verificado que métricas como largura do leito sazonal, porcentagem de pedras e seixos, porcentagem de fluxos lentos e teores de oxigênio dissolvido explicaram a riqueza de EPTs em riachos (Tabela 1). Foram identificados alguns gêneros que foram influenciados por métricas de habitats relacionadas aos tipos de fluxos superficiais (p. ex., *Phylloicus*,

Chimarra, *Leptohyphes*, *Hermanella* e *Camelobaetidium*), morfologia do canal dos riachos (p. ex., *Hagenulopsis*, *Varipes*, *Cynellus*, *Macronema*, *Polycentropus* e *Waltzoyphius*), tipos de substratos no leito (p. ex., *Triplectides*, *Asthenopus*, *Leptonema* e *Itaura*), parâmetros de qualidade de água (p.ex., *Campsurus*, *Cynellus*, *Macronema*, *Polycentropus* e *Waltzoyphius*), abrigo (p. ex., *Massartela* e *Helicopsyche*) e estrutura ripária (p. ex., *Cloeodes* e *Polyplctropus*) (Figura 12 e Tabela 2).

TABELA 1 – Habitats físicos e parâmetros de qualidade de água que mais fortemente influenciaram na estruturação da riqueza de EPT nas bacias dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias, MG.

| Bacias hidrográficas | Riqueza de gêneros de EPT | Habitats físicos e parâmetros de qualidade de água que melhor explicam a distribuição da riqueza de EPTs |
|----------------------|---------------------------|---|
| Nova Ponte | 61 | Largura do leito sazonal Porcentagem de pedras e seixos Proporção de abrigo Declividade do rio |
| Três Marias | 65 | Porcentagem de fluxo lento Estabilidade relativa do substrato Largura média da área molhada do canal Teores de oxigênio dissolvido |

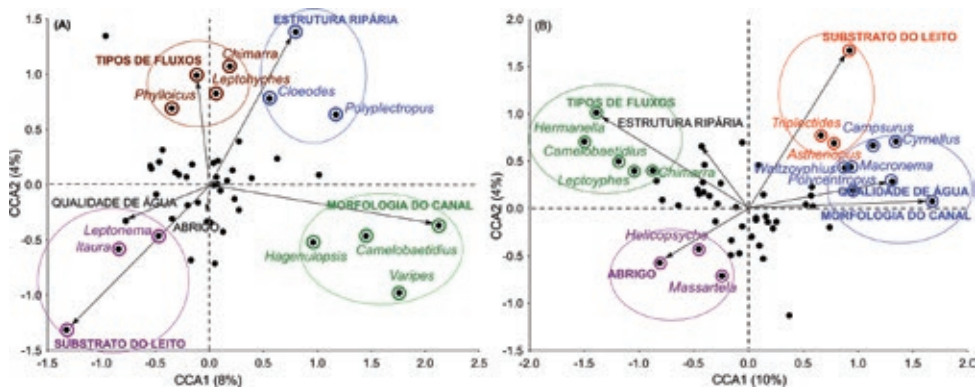


FIGURA 12 – Relação entre a composição de gêneros de EPT e as características de habitats físicos e qualidade de água em riachos das bacias hidrográficas dos reservatórios de Nova Ponte (A) e Três Marias (B), MG.

TABELA 2 – Métricas de habitats físicos e parâmetros de qualidade de água que influenciaram a composição de gêneros de EPTs em riachos das bacias hidrográficas dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias, MG.

| Métricas de habitats físicos e parâmetros de qualidade de água | Descrição das métricas |
|--|---|
| Morfologia do canal | Profundidade e largura média Declividade e sinuosidade |
| Estrutura ripária | % média e desvio padrão da média de dossel Cobertura ripária total |
| Substrato do leito | % média de substrato enterrado no canal % de seixos e cascalho |
| Abrigo | Bancos de folhas, troncos e galhos Tufos de algas e macrófitas Margens escavadas Abrigo antropogênico (ex. pneus, tijolos e etc) |
| Tipos de fluxos | Fluxos rápidos e suaves % de poças |
| Parâmetros de qualidade de água | Oxigênio dissolvido pH Nitrogênio total |

Componentes de mesohabitat que determinam a composição de assembleias de EPT

Os macroinvertebrados bentônicos apresentam uma estreita relação com os substratos presentes nos leitos dos riachos e com os tipos de fluxos superficiais da água, importantes componentes dos habitats físicos fluviais. Denominam-se mesohabitats as unidades de habitats compostas por combinações de tipos específicos de substratos e fluxos superficiais. Alguns táxons apresentam adaptações para viver em situações de maior correnteza, agarrando-se ao substrato e locomovendo-se entre partículas grandes de pedras e seixos. Outros têm corpo vermiforme que os capacita a viver entre partículas finas de sedimento em locais de deposição em remansos e poções.

Substratos

Os substratos exercem um importante papel para as comunidades bentônicas, fornecendo habitat, refúgio contra predadores e recursos alimentares (Allan & Castillo, 2007). Algumas características dos substratos tais como tamanho das partículas, heterogeneidade, compactação e estabilidade são fatores que influenciam os organismos bentônicos residentes (Verdonschot, 2001). Na Figura 13 são exemplificados diferentes tipos de substratos, caracterizados de acordo com sua natureza ou tamanho da partícula.



FIGURA 13 – Tipos de substratos encontrados no fundo de riachos: silte e argila (A), areia (B), cascalho (C), seixos (D), banco de folhas (E) e bloco (F).

Fluxo superficial da água

Resultantes de diferenças na geomorfologia dos canais fluviais, os diferentes tipos de fluxos superficiais fornecem quantidades diferenciadas de gases dissolvidos, determinam a quantidade de material orgânico transportado e modificam os mesohabitats por meio de processos de abrasão e deposição (Reid & Thoms, 2008). Desta forma, representam um conjunto distinto de condições de grande relevância para os organismos bentônicos. Na Figura 14, exemplificamos diferentes tipos de fluxos superficiais da água.



FIGURA 14 – Diferentes tipos de fluxos superficiais da água em riachos: (A) piscina, (B) fluxo suave lento, (C) fluxo suave rápido, (D) corredeira e (E) rápido.

Uma de nossas abordagens de estudos foi avaliar a importância dos mesohabitats (substratos e fluxos superficiais) em determinar a composição de assembleias de EPT. Foram realizadas análises que indicam a fração da variação total das assembleias de EPT que é explicada pelos mesohabitats e a fração que é explicada pelo componente espacial (representado pelos diferentes riachos amostrados).

Observamos que os mesohabitats responderam pelo maior percentual de explicação das assembleias de EPT, com 16,5% (Figura 15). O fator espacial contribuiu na explicação, mas com um percentual menor (11,3%). A maior parte da variação total das assembleias (70%) não pode ser explicada pelos mesohabitats e pelos fatores espaciais considerados. Uma pequena fração (2%) foi compartilhada entre os fatores de mesohabitats e o fator espacial.

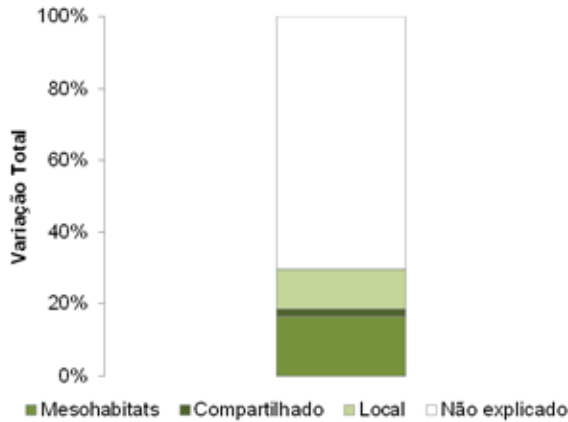


FIGURA 15 – Representação gráfica do percentual de explicação da variação das assembleias de EPT pelos mesohabitats e pelo fator espacial.

No intuito de verificar o quanto cada componente do mesohabitat (substratos e fluxos superficiais) respondeu separadamente a variação das assembleias, o percentual total explicado pelo mesohabitat no primeiro teste foi analisado separadamente (Figura 16). Foi observado que os tipos de fluxos superficiais responderam por um maior percentual de explicação da variação da composição das assembleias de EPT, com 67,6%. Os tipos de substratos responderam por um percentual bem menor (14,2%), assim como o percentual compartilhado entre esses dois componentes (18,2%).

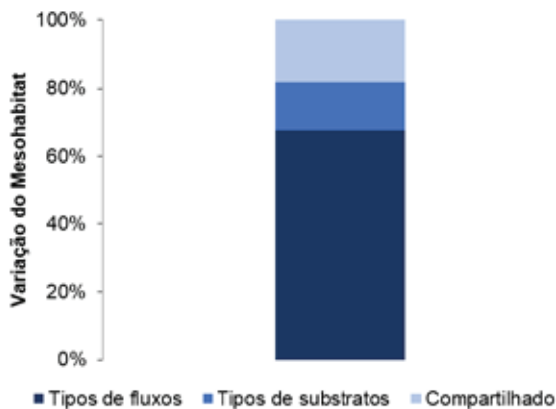


FIGURA 16 – Representação gráfica do fracionamento da explicação das variações das composições de assembleias de EPT fornecida pelos componentes dos mesohabitats.

Portanto, os fatores do mesohabitat são importantes preditores das comunidades de macroinvertebrados bentônicos, especialmente os tipos de fluxos superficiais, responsáveis pelo maior percentual de explicação da variação das assembleias de EPT. Estes elementos devem ser cuidadosamente considerados em estudos de avaliações de biodiversidade em riachos de cabeceira.

3.5 Diversidade de insetos da ordem Ephemeroptera

Dentre os macroinvertebrados bentônicos sensíveis à poluição, as ninfas de Ephemeroptera são especialmente importantes por serem capazes de viver em uma ampla variedade de condições ambientais e por apresentarem elevada riqueza de espécies e gêneros. Alguns grupos são tolerantes à adição de nutrientes na água decorrentes do lançamento pontual de pequenas quantidades de esgotos ou cargas orgânicas.

A riqueza de Ephemeroptera foi alta nos riachos das bacias que drenam os reservatórios de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão. A riqueza total nas três bacias foi de 41 gêneros distribuídos em 7 famílias (Baetidae, Caenidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae e Polymitarcyidae) (Figura 17). Isso corresponde a 57% do total de gêneros registrados para o Brasil (Salles et al., 2013). A maioria dos gêneros encontrados (24) foi compartilhada entre as quatro bacias consideradas (Figura 18). Nos riachos que drenam o reservatório de Nova Ponte foram identificados 30 gêneros distribuídos em cinco famílias. Nos riachos da bacia do reservatório de Três Marias, 35 gêneros em sete famílias; nos riachos que drenam para Volta Grande, 27 gêneros em quatro famílias e nos riachos que drenam para o reservatório de São Simão, 29 gêneros e quatro famílias. Alguns gêneros foram amostrados exclusivamente nos riachos dos reservatórios de Nova Ponte, Três Marias e São Simão (três, sete e dois gêneros, respectivamente).



FIGURA 17 – Exemplos de Ephemeroptera. Leptophlebiidae; *Ulmeritoides* (A), *Thraulodes* (B), Caeniidae; *Caenis* (C), Euthyplociidae; *Campylocia* (D), Leptohiphidae; *Traverhyphes* (E), *Tricorythodes* (F), Baetidae; *Camelobaetidius* (G), *Americabaetis* (H). Fotos: Kele R. Firmiano.

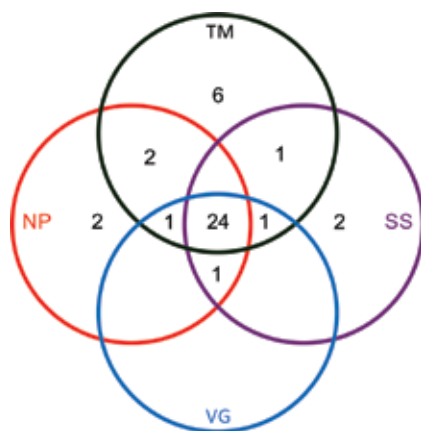


FIGURA 18 – Diagrama de riqueza de Ephemeroptera nos riachos que drenam os reservatórios de Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS), MG.

As curvas de acumulação de gêneros tenderam à estabilização, demonstrando que o esforço amostral foi suficiente para o inventário dos gêneros de Ephemeroptera nas bacias estudadas (Figura 19).

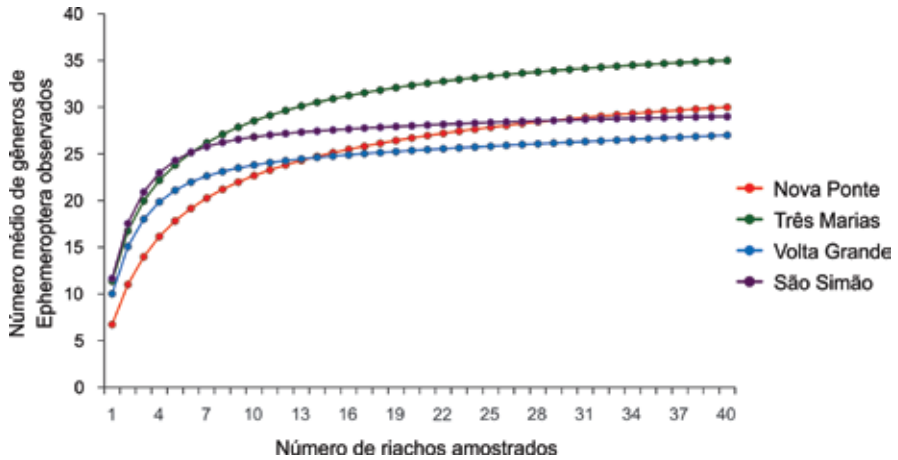


FIGURA 19 – Riqueza de gêneros observada nas bacias de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão, MG.

O padrão observado para as abundâncias relativas dos gêneros encontrados foi semelhante ao apresentado em outros levantamentos de biodiversidade de Ephemeroptera no Brasil, que registraram poucos gêneros comuns, exibindo altas abundâncias e frequências, e muitos gêneros raros, pouco abundantes e pouco frequentes (Shimano et al., 2010; Souza et al., 2011; Siqueira et al., 2012) (Figura 20).

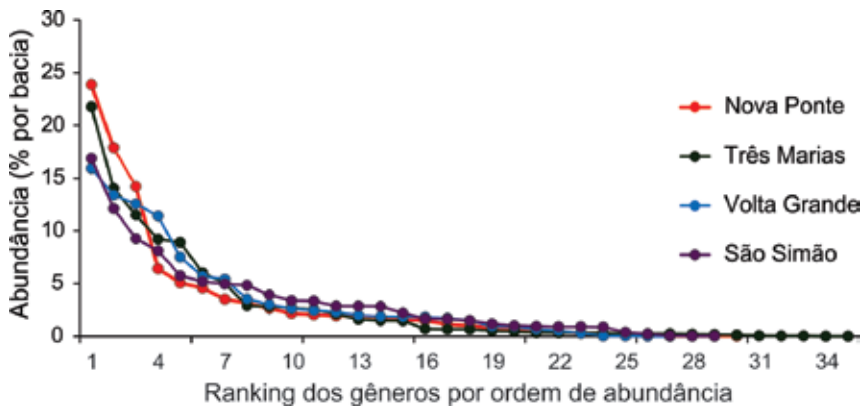


FIGURA 20 – Ranking decrescente das abundâncias relativas dos gêneros de Ephemeroptera encontrados em cada bacia.

Os gêneros considerados comuns na bacia do reservatório de Nova Ponte foram *Thraulodes* (Leptophlebiidae) e *Traverhypthes* e *Tricorythodes* (Leptohiphidae). Na bacia do reservatório de São Simão os gêneros mais comuns foram *Americabaetis* (Baetidae), *Farrodes*, *Thraulodes* (Leptophlebiidae) e *Traverhypthes* (Leptohiphidae). A maioria dos gêneros comuns coletados nas bacias dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias podem ser considerados generalistas, sendo amostrados em riachos com diferentes níveis de perturbação antrópica. Por outro lado, a maioria dos gêneros raros foram coletados em riachos em condições ecológicas intermediárias ou de baixo distúrbio antrópico (locais menos perturbados).

3.6 Variáveis de distúrbios antrópicos que influenciam a riqueza de Ephemeroptera

Métricas de distúrbios antrópicos mensuradas tanto na escala regional (nas bacias de drenagem dos riachos) quanto na escala local (nos leitos dos riachos e suas zonas ripárias) foram usadas como preditoras da riqueza de gêneros de Ephemeroptera nos riachos nas bacias que drenam os reservatórios de Nova Ponte e Três Marias.

Em escala regional os tipos predominantes de usos do solo nas duas bacias foram agricultura e pastagem. Estes tipos de usos da terra impactam os riachos de várias formas e exercem uma influência negativa sobre as assembleias de Ephemeroptera. Em áreas agriculturáveis há remoção e substituição da cobertura natural por cultivos agrícolas e intensa manipulação da terra, acarretando no aumento da carga de nutrientes e a aceleração dos processos de erosão e assoreamento nos corpos d'água (Carpenter et al., 1998). Em áreas de pastos observa-se principalmente a compactação dos solos devido ao pisoteio do gado (Agouridis et al., 2005).

Métricas de distúrbio antrópico em escala local, tais como a presença de canalizações, pontes, presença de lixo e construções próximas às margens, influenciaram negativamente a riqueza de Ephemeroptera. Essas intervenções diminuem a disponibilidade de habitats para a biota aquática de diversas formas. Em riachos canalizados, por exemplo, há menor diversidade de tipos de substratos e de fluxos superficiais. Estruturas de contenção diminuem a velocidade da água, criando áreas de remansos onde se depositam sedimentos finos. A presença de canos, lixo, entulho e construções frequentemente está relacionada à piora na qualidade da água, em função da decomposição do lixo e do despejo de esgotos diretamente nos cursos d'água (Woodward et al., 2012).

A análise de gêneros indicadores (Dufrene & Legendre, 1997) demonstrou que dos 30 gêneros de Ephemeroptera identificados nos riachos da bacia do reservatório de Nova Ponte, cinco destes foram indicadores de riachos menos perturbados, segundo o Índice de Distúrbio Integrado (IDI) proposto por Ligeiro et al. (2013). Esta análise baseia-se nos valores de abundância e frequências relativas dos gêneros nos riachos mais e menos perturbados. Os gêneros indicadores pertencem às famílias Baetidae e Leptophlebiidae, consideradas as mais diversas em muitos estudos em riachos de cabeceira. Em estudos anteriores, ninfas da família Baetidae foram avaliadas como indicadoras de boas condições ecológicas. Apesar desta família como um todo ser considerada a menos sensível às alterações antrópicas segundo o índice BMWP (Junqueira et al., 2000), Buss & Salles (2007) e Souza et al. (2011) encontraram espécies dessa família sensíveis à degradação ambiental. Os representantes da família Leptophlebiidae são normalmente mais sensíveis, e gêneros dessa família avaliados como indicadores de boas condições ecológicas foram classificados como pertencentes às guildas dos coletores-catadores e fragmentadores (Shimano et al., 2012). Os fragmentadores estão associados a depósitos de bancos de folhas nos leitos dos riachos, o que confirma a importância da manutenção da vegetação ripária para a conservação da biodiversidade aquática.

3.7 Características de habitats físicos que determinam o conteúdo alimentar de um fragmentador típico (*Phylloicus*, Calamoceratidae, Trichoptera)

Os invertebrados detritívoros exercem importante papel no processo de decomposição das folhas que caem, são transportadas e eventualmente acumulam-se no fundo de riachos (Graça, 2001). Os macroinvertebrados bentônicos fragmentadores alimentam-se dessas folhas (matéria orgânica particulada grossa – MOPG) e reduzem o seu tamanho disponibilizando-as na forma de matéria orgânica particulada fina (MOPF) para outros organismos detritívoros e decompositores (Boyero et al., 2011).

As larvas de *Phylloicus* (Trichoptera: Calamoceratidae) são normalmente encontradas em riachos com águas correntes, frias, bem oxigenadas e com grande oferta de material vegetal. São consideradas como típicas fragmentadoras de folhas acumuladas no fundo de riachos (Pérez, 1988; Merritt & Cummins, 1996; Cummins et al., 2005), utilizando-as para a alimentação e a construção de abrigo (Figura 21). São também consideradas bioindicadoras de boas condições ecológicas, devido à sua sensibilidade a impactos antrópicos. Devido à sua estreita relação com o ambiente físico, a forma de alimentação ou estratégia

para adquirir alimento pode variar de acordo com a disponibilidade de recursos alimentares presentes na forma de MOPG e MOPF. Dessa forma, alterações no ambiente físico podem afetar direta ou indiretamente estes animais.



FIGURA 21 – Ilustrações das etapas metodológicas do estudo de conteúdo alimentar de larvas de *Phylloicus*, um fragmentador típico em riachos tropicais pouco alterados por atividades antrópicas.

Nos riachos das bacias dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias foi avaliada a dieta de larvas de *Phylloicus* em cinco estágios de desenvolvimento larval (instares I, II, III, IV e V). Foram relacionadas as composições dos itens alimentares contidos no trato digestivo das larvas (MOPG, MOPF, algas, tecido vegetal, tecido animal e material mineral) com métricas de habitats físicos avaliadas nos riachos (p.ex., vegetação ripária, tipos de fluxos superficiais, tipos de substratos e locais de acúmulos de folhas). As duas bacias diferem quanto aos usos do solo nas bacias de drenagem e quanto às condições de distúrbios dos riachos. Os riachos que drenam o reservatório de Nova Ponte apresentam a agricultura como principal uso do solo, enquanto que os riachos da bacia do reservatório de Três Marias têm a pecuária em pequenas fazendas como principal atividade (Ligeiro et al., 2013). Foi evidenciado que as larvas de *Phylloicus* alimentaram-se principalmente de MOPF e MOPG. Devido às diferenças das condições de distúrbios dos riachos e dos habitats físicos entre as duas bacias, as larvas na bacia do reservatório de Nova Ponte apresentaram maior proporção de MOPF (> 90%). As larvas da bacia do reservatório de Três Marias, embora tivessem MOPF em seus tratos digestivos como item alimentar predominante, apresentaram elevadas proporções de MOPG no trato digestivo de larvas de instares III e IV. Os demais itens (algas, tecido vegetal, tecido animal e material mineral) foram raros no trato digestivo das larvas de *Phylloicus*, sugerindo que seu consumo foi eventual e provavelmente pouco importante para o crescimento dos organismos (Figura 22).

A importância da MOPF como alimento foi relacionada à largura e à profundidade mé-

dia dos riachos, e também pela presença de vegetação nas margens. A MOPG apresentou estreita relação com a vegetação ripária e com a disponibilidade de abrigos como galhos e troncos caídos no leito dos riachos, estes representando possíveis locais de acúmulo de recursos alimentares (Quadro 1).

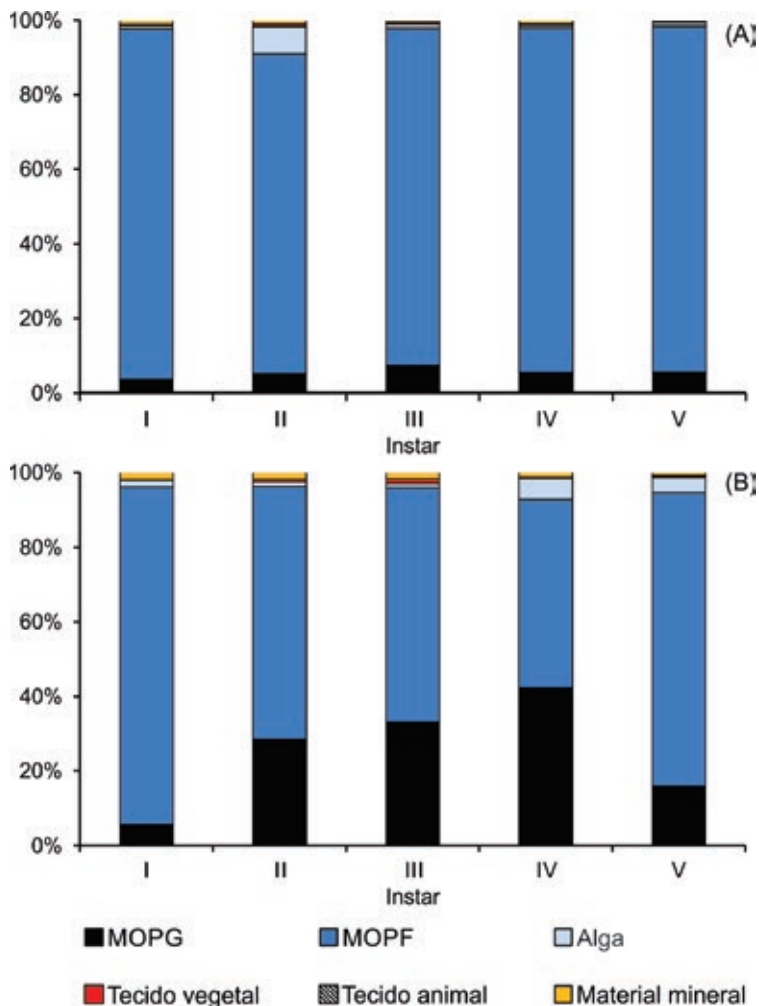
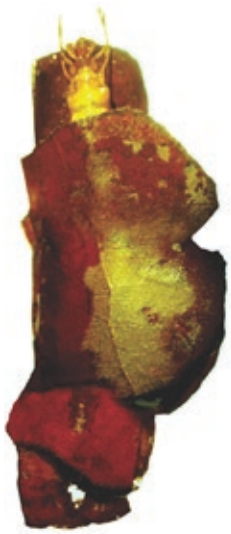


FIGURA 22 – Proporção de itens alimentares encontrados no trato digestivo de larvas de *Phylloicus* em cinco estágios de desenvolvimento coletadas nos riachos nas bacias que drenam os reservatórios de Nova Ponte (A) e Três Marias (B), MG.

QUADRO 1 – Métricas de habitats físicos selecionadas pelos modelos de regressão múltipla relacionadas às proporções de itens alimentares encontradas nos tratos digestivos de larvas de *Phylloicus* em riachos de cabeceira nas bacias dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias, MG.

| <i>Phylloicus</i> (Trichoptera: Calamoceratidae) | Itens alimentares | Métricas de habitats físicos e relação com itens alimentares |
|--|-------------------|--|
|  | MOPG | Cobertura média de vegetação de pequeno porte; Presença de tufos de algas e pequenos detritos. |
| | MOPF | Largura média x profundidade média do canal; Cobertura média de vegetação de pequeno porte. |
| | Algas | Cobertura média de vegetação herbácea; Cobertura média de vegetação de pequeno porte. |
| | Tecido vegetal | Cobertura média da copa ripária; Cobertura média da copa intermediária. |
| | Tecido animal | Altura média do leito sazonal; Largura média x profundidade média do canal. |
| | Material mineral | Porcentagem média de material orgânico total; Presença de sub-bosque por transecto. |

4 – CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentamos algumas abordagens de estudo com assembleias de macroinvertebrados em riachos, bem como metodologias amostrais e análises estatísticas comumente empregadas. Os macroinvertebrados são organismos diversos e abundantes em riachos de cabeceira, conforme foi encontrado nas quatro bacias estudadas no projeto IBI-Cemig. A abundância de indivíduos e a composição taxonômica responderam de forma expressiva tanto às características dos habitats físicos quanto às medidas de distúrbios antrópicos atuando em diferentes escalas espaciais. Isso comprova a importância desse grupo de organismos para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas aquáticos e para o monitoramento das condições ambientais em riachos.

5 – AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas dos Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG, Ictiologia da UFLA, do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas e CEFET-MG pelo apoio em campo e laboratório. À Cemig – Programa Peixe Vivo pelo financiamento do projeto, CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio na forma de bolsas. Somos especialmente gratos aos colegas norte-americanos Robert Mason Hughes e Philip Robert Kaufmann por apoiarem todas as atividades deste projeto. Taynan H. Tupinambás gentilmente cedeu as Figuras 1 e 2 de sua tese de doutorado. MC recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq No. 302960/2011-2) e bolsa de pesquisador mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00077/13).

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOURIDIS, C.T.; WORKMAN, S.R.; WARNER, R.C. & JENNINGS, G.D. Livestock grazing management impacts on stream water quality: a review. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 41, p. 591-606, 2005.
- ALLAN, J.C. & CASTILLO, M.M. *Stream Ecology: Structure and function of Running Waters*. 2nd ed., Dordrecht: Springer, 2007.
- BOYERO, L.; PEARSON, R.G.; DUDGEON, D.; GRAÇA, M.A.; GESSNER, M.O.; ALBARIÑO, R.J.; FERREIRA, V.; YULE, C.M.; BOULTON, A.J.; ARUNACHALAM, M.; CALLISTO, M.; CHAUVET, E.; RAMÍREZ, A.; CHARÁ, J.; MORETTI, M.S.; GONÇALVES, J.F. JR; HELSON, J.E.; CHARÁ-SERNA, A.M.; ENCALADA, A.C.; DAVIES, J.N.; LAMOTHE, S.; CORNEJO, A.; LI, A.O.; BURIA, L.M.; VILLANUEVA, V.D.; ZÚÑIGA, M.C. & PRINGLE, C.M. Global distribution of a key trophic guild contrasts with common latitudinal diversity patterns. *Ecology*, v. 92, p. 1839-1848, 2011.
- BUSS, D.F. & SALLES, F.F. Using Baetidae species as biological indicators of environmental degradation in a Brazilian river basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 130, p. 365-372, 2007.

- CALLISTO, M.; MORETTI, M. & GOULART, M.D. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, p. 71-82, 2001.
- CARPENTER, S.R.; CARACO, N.F.; CORRELL, D.L.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N. & SMITH V.H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, v. 8, p. 559-568, 1998.
- COSTA, C.; IDE, S. & SIMONKA, C. *Insetos imaturos. Metamorfose e identificação*. Ribeirão Preto, Holos Editora, 249p., 2006.
- CUMMINS, K.W.; MERRITT R.W. & ANDRADE P.C.N. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in South Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 40, p. 69-89, 2005.
- DUFRENE, M. & LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, v. 67, p. 345-366, 1997.
- ESTEVES, F.DE A.; LEAL, J.J.F. & CALLISTO, M. Comunidade bentônica. In: *Fundamentos de Limnologia*. Esteves, F.de A. Interciência. 3 ed., p. 581-603, 2011.
- FERNÁNDEZ, H. & DOMÍNGUEZ, E. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos. *Entomotropica*, v. 16, p. 219, 2001.
- FERREIRA, W.; PAIVA, L. & CALLISTO, M. Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed. *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, p. 15-25, 2011.
- GOTELLI, N.J. & COLWELL, R.K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology letters*, v. 4, p. 379-391, 2001.
- GOTELLI, N. & ELLISON, A. *A primer of ecological statistics*. Á Sinauer Ass. Inc Publ. Sunderland USA, 2004.

- GRAÇA, M.A.S. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams—a review. *International Review of Hydrobiology*, v. 86, p. 383-393, 2001.
- HUGHES, R.M.; LARSEN, D.P. & OMERNIK, J.M. Regional reference sites: a method for assessing stream potentials. *Environmental management*, v. 10, p. 629-635, 1986.
- JUNQUEIRA, M.V.; AMARANTE, M.C.; DIAS, C.F.S. & FRANÇA, E.S. Biomonitoramento da qualidade das águas da Bacia do Alto Rio das Velhas (MG/Brazil) através de macroinvertebrados. *Acta Limnologica Brasiliensia*. v. 12, p. 73-87, 2000.
- KAUFMANN, P.R. & FAUSTINI, J.M. Simple measures of channel habitat complexity predict transient hydraulic storage in streams. *Hydrobiologia*, v. 685, p. 69-95, 2012.
- LIGEIRO, R.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; MACEDO, D.R.; FIRMIANO, K.R.; FERREIRA, W.R.; OLIVEIRA, D.; MELO, A.S. & CALLISTO, M. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. *Ecological Indicators*, v. 25, p. 45-57, 2013.
- MARCHANT, R.; NORRIS, R.H. & MILLIGAN, A. Evaluation and application of methods for biological assessment of streams: summary of papers. *Hydrobiologia*, v. 572, p. 1-7, 2006.
- MELO, A.S. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade. *Biota Neotrópica*, v. 8, p. 21-27, 2008.
- MERRITT, R.W. & CUMMINS, K.W. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall Hunt, 1996.
- MINGOTI, S.A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Editora UFMG, 2005.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. & BAPTISTA, D. *Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Technical Books, 174p. 2010.

- NORRIS, R.H. & THOMS, M.C. What is river health? *Freshwater Biology*, v. 41, p. 197-209, 1999.
- PÉREZ, R.G. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Antioquia: Universidad de Antioquia, 1988.
- REID, M.A. & THOMS, M.C. Surface flow types, near-bed hydraulics and the distribution of stream macroinvertebrates. *Biogeosciences*, v.5, p. 1043-1055, 2008.
- ROSENBERG, D.M. & RESH, V.H. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, 1993.
- SALLES, F.F. *Lista de espécies de Ephemeroptera (Insecta) registradas para o Brasil*. Disponível em: < <http://ephemeroptera.com.br/lista/> >. Acesso em: 14 de outubro 2013.
- SEGURA, M.O.; VALENTE-NETO, F. & FONSECA-GESSNER, A.A. Chave de famílias de Coleoptera aquáticos (Insecta) do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica*, v. 11, p. 393-412, 2011.
- SHIMANO, Y.; CABETTE, H.S.R.; SALLES, F.F. & JUEN, L. Composição e distribuição da fauna de Ephemeroptera (Insecta) em área de transição Cerrado-Amazônia, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, v. 100, p. 301-308, 2010.
- SHIMANO, Y.; SALLES, F.F.; FARIA, L.R.R.; CABETTE, H.S. & NOGUEIRA, D.S. Distribuição espacial das guildas tróficas e estruturação da comunidade de Ephemeroptera (Insecta) em córregos do Cerrado do Mato Grosso, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, v. 102, p. 187-196, 2012.
- SIQUEIRA, T.; BINI, L.M.; ROQUE, F.O.; COUCEIRO, S.R.M.; TRIVINHO-STRIXINO, S. & COTTENIE, K. Common and rare species respond to similar niche processes in macroinvertebrate metacommunities. *Ecography*, v. 35, p. 183-192, 2012.

SOUZA, H.M.L.; CABETTE, H.S. & JUEN, L. Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) of Cerrado streams in the state of Mato Grosso, Brazil, under different levels of environmental preservation. *Iheringia, Série Zoologia*, v. 101, p. 181-190, 2011.

STOODARD, J.L.; LARSEN, D.P.; HAWKINS, C.P.; JOHNSON, R.K. & NORRIS, R.H. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. *Ecological Applications*, v. 16, p. 1267-1276, 2006.

VERDONSCHOT, P.F. Hydrology and substrates: determinants of oligochaete distribution in lowland streams (The Netherlands). *Hydrobiologia*, v. 158, p. 249-262, 2001.

WARD, J.V. *Aquatic insect ecology: ecology and habitat*. John Wiley & Sons, Inc., 1992.

WOODWARD, G.; GESSNER, M.O.; GILLER, P.S.; GULIS, V.; HLADYZ, S.; LECERF, A.; MALMQVIST, B.; MCKIE, B.G.; TIEGS, S. D.; CARISS, H.; DOBSON, M.; ELOSEGI, A.; FERREIRA, V.; GRAÇA, M.A.S.; FLEITUCH, T.; LACOURSIÈRE, J.O.; NISTORESCU, M.; POZO, J.; RISNOVEANU, G.; SCHINDLER, M.; VADINEANU, A.; VOUGHT, L.B.M. & CHAUVET, E. Continental-scale effects of nutrient pollution on stream ecosystem functioning. *Science*, v. 336, p. 1438-1440, 2012.

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 7

BIOINDICADORES BENTÔNICOS DE QUALIDADE AMBIENTAL EM RESERVATÓRIOS DA CEMIG

LETÍCIA DE MORAIS,
RAFAELA LIMA DE FARIAS, ISABELA MARTINS,
JOSÉ ETHAM LUCENA BARBOSA, JOSELINE MOLOZZI,
MARIA JOSÉ ANACLÉTO & MARCOS CALLISTO

MORAIS, L.; FARIAS, R.L.; MARTINS, I.; BARBOSA, J.E.L.; MOLOZZI, J.; ANACLÉTO, M.J. & CALLISTO, M. 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, v. 1, p. 161-184, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – INTRODUÇÃO

Os rios fazem parte da paisagem, moldando o terreno, atraindo populações humanas, garantindo condições para que viva um grande número de espécies de flora, fauna e microrganismos, oferecendo bens e serviços ao bem-estar do homem. Gradativamente os rios têm sido alterados quanto à conectividade em seu curso natural pela construção de barramentos que têm a finalidade de acumular água, regular flutuações de pulsos de inundação e garantir geração de energia para o desenvolvimento da sociedade humana.

O barramento de um rio modifica os atributos físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas (Franklin et al., 1995), a montante pela formação de um lago, e a jusante alterando os padrões naturais de vazão e transporte de sedimentos (Tupinambás et al., 2014). Essas modificações são tão expressivas que fazem com que um novo e mais simplificado ecossistema resulte do represamento das águas do rio, formando um reservatório artificial, totalmente distinto do que havia antes no leito natural do rio. Os lagos de barramentos hidrelétricos oferecem bens e serviços ecossistêmicos ao homem, incluindo geração de energia elétrica, abastecimento, irrigação, controle de enchentes, navegação, pesca, turismo e recreação (Agostinho et al., 2008). Segundo informações da Agência Nacional de Águas (ANA), o volume de água doce no Brasil representa cerca de 12% da disponibilidade no planeta. Os reservatórios artificiais são elementos estratégicos no armazenamento de água no país, principalmente em áreas submetidas a longos períodos de seca, como no nordeste brasileiro. Entretanto, os múltiplos usos das águas em bacias hidrográficas promovem alterações ambientais em larga escala, como diminuição da biodiversidade aquática, fragmentação de habitats, introdução de espécies exóticas, modificação da composição química da água a montante e a jusante, perda da qualidade da água e redução da qualidade ambiental (Borges et al., 2010; Rocha et al., 2011; Tiemann et al., 2004).

Portanto, avaliar a qualidade de água, a biodiversidade e a integridade ambiental são aspectos importantes para a gestão de ecossistemas aquáticos em bacias hidrográficas. Em reservatórios de empreendimentos hidrelétricos observam-se intensas mudanças ambientais devido à proximidade das barragens às cidades ou pelo uso da terra no seu entorno, para outros fins (p. ex. agricultura, monoculturas de eucalipto, pastagens e/ou construção de estradas e rodovias, crescimento desordenado de cidades). A modificação da cobertura do solo representa perda da vegetação natural e da composição original da biodiversidade nos ecossistemas terrestres no entorno dos cursos d'água. No estado de Minas Gerais

a modificação do uso do solo no entorno de reservatórios pode representar um sinal de alerta para as alterações no Cerrado, o segundo bioma mais extenso da região Neotropical e um dos *hotspots* para conservação de biodiversidade no planeta (Myers et al., 2000).

Segundo Kaufmann & Whittier (1997), informações sobre o uso e ocupação do solo, características de habitats físicos na região litorânea, características limnológicas e estrutura de comunidades aquáticas fornecem dados para avaliações de condições ecológicas, subsidiando a proposição de ações de restauração e conservação de ecossistemas aquáticos. Esse enfoque é particularmente importante em bacias hidrográficas com aproveitamentos hidrelétricos no Brasil (Macedo & Callisto, 2012).

Nesse contexto, o conhecimento das características ambientais da bacia hidrográfica de um empreendimento hidrelétrico pode contribuir para a proposição de medidas de restauração e reabilitação de ecossistemas como subsídio aos tomadores de decisões em órgãos ambientais gestores de recursos naturais, governo e instituições de proteção. Considerar aspectos abióticos e bióticos em diferentes escalas espaciais permite a realização de uma importante abordagem de avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos, sendo descrito neste capítulo um exemplo de avaliação de distúrbios humanos em reservatórios hidrelétricos no estado de Minas Gerais. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de características de reservatórios e suas áreas de entorno sobre as comunidades de macroinvertebrados bentônicos, organismos que compõem a fauna de ecossistemas aquáticos e que são utilizados como bioindicadores de qualidade ambiental. A pergunta ecológica que norteou os estudos foi: “As condições de qualidade ambiental (uso e ocupação do solo, características de habitats físicos e variáveis limnológicas) na região litorânea de reservatórios influenciam a estrutura e composição de comunidades bentônicas?”. Para responder foram consideradas características ambientais em macro (aspectos do uso e ocupação do solo), meso (integridade da mata ciliar) e microescalas (variáveis físicas e químicas da água e sedimento na região litorânea dos reservatórios).

2 – METODOLOGIA

Foram mensurados parâmetros físicos, químicos e biológicos em 40 sítios amostrais na região litorânea dos reservatórios de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão (Minas Gerais) no fim do período chuvoso dos anos de 2010, 2011, 2012 e 2013, respectivamente (Figura 1).

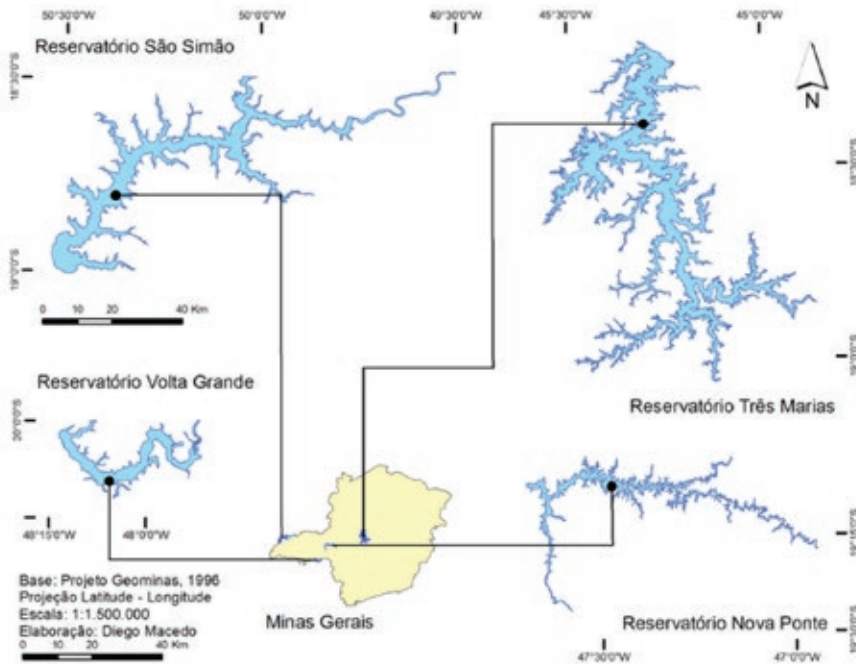


FIGURA 1 – Localização dos reservatórios no cerrado mineiro: São Simão (divisa dos Estados de Goiás e Minas Gerais) na bacia do rio Paranaíba, Três Marias na bacia do rio São Francisco, Volta Grande (divisa dos Estados de São Paulo e Minas Gerais) na bacia do rio Grande e Nova Ponte na bacia do rio Araguari.

Foram realizadas avaliações quanto aos tipos de uso do solo, integridade da mata ciliar e características da coluna d'água e sedimento, para caracterizar os 40 sítios amostrais em cada reservatório de acordo com três níveis de distúrbios: baixo, médio ou alto. A avaliação do uso e ocupação do solo foi realizada através da caracterização do tipo de cobertura do solo em uma área de 500 metros de diâmetro no entorno de cada sítio amostral. A integridade da mata ciliar foi avaliada quanto às características do habitat como componentes da vegetação ripária, presença de influências antrópicas (p. ex. construções, lixo, pastagens e agricultura) e tipos de sedimento (p. ex. rocha, cascalho, areia e lama) (Figuras 2 e 3). Sítios amostrais compostos predominantemente por características naturais foram classificados em baixo distúrbio, enquanto sítios amostrais compostos predominantemente por influências antrópicas foram classificados em alto distúrbio. Sítios amostrais onde foi observado um equilíbrio entre características naturais e influências antrópicas foram classificados em médio distúrbio (Figura 4).



FIGURA 2 – Características do habitat observadas na avaliação de distúrbios em mesoescala (integridade da mata ciliar) na região litorânea de reservatórios hidrelétricos no cerrado mineiro.



FIGURA 3 – Tipos de sedimento observados na avaliação de distúrbios em mesoescala (integridade da mata ciliar) na região litorânea de reservatórios hidrelétricos no cerrado mineiro.

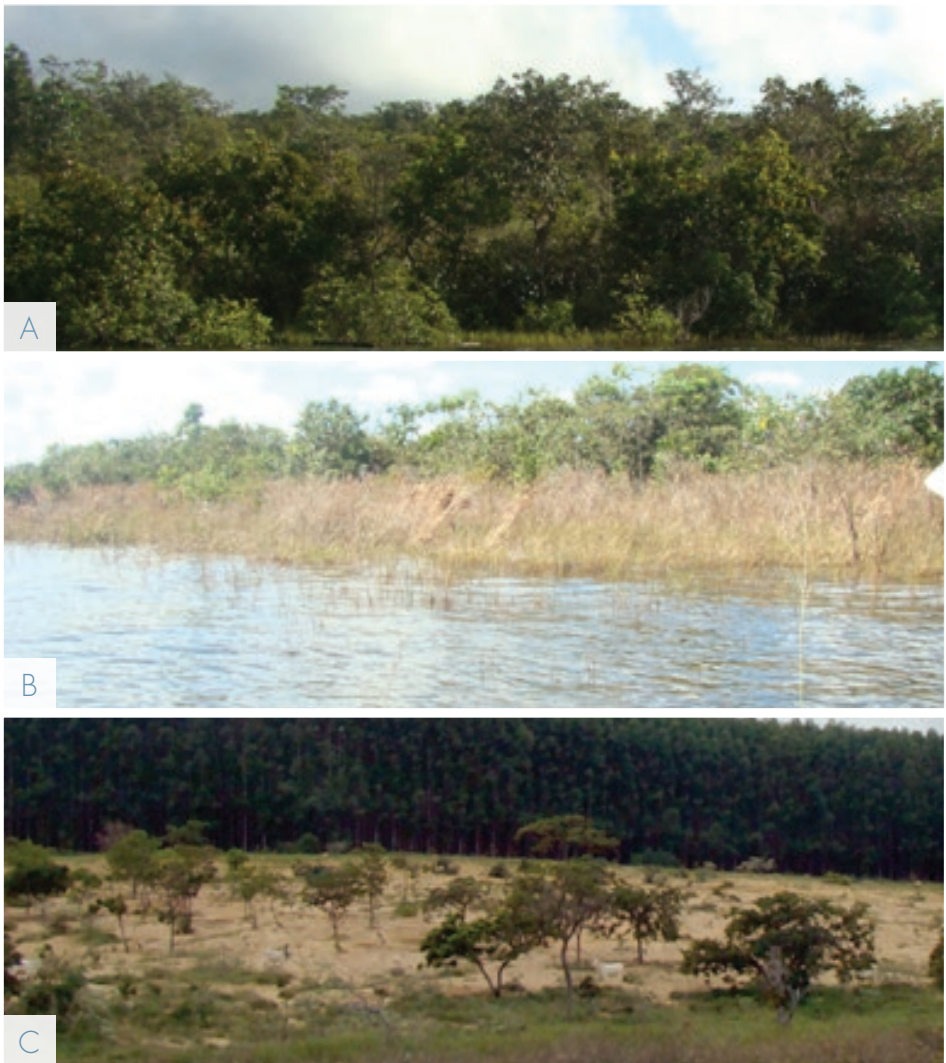


FIGURA 4 – Exemplos de sítios amostrais em baixo (A) médio (B) e alto distúrbios (C) em mesoescala (integridade da mata ciliar) na região litorânea de reservatórios hidrelétricos no cerrado mineiro.

Foram realizadas mensurações de variáveis físicas e químicas na água (p.ex. temperatura, profundidade, teores de nutrientes e de oxigênio) e no sedimento (teores de matéria orgânica e tamanho das partículas de sedimento). Foram avaliadas também as comunidades de macroinvertebrados bentônicos no sedimento nos mesmos sítios amostrais na

região litorânea dos reservatórios estudados. Um enfoque utilizado neste estudo foi o de amostrar a comunidade bentônica utilizando duas metodologias: draga de Eckman-Birge e kick-net (Figura 5). Esses amostradores são utilizados com diferentes objetivos, seja em levantamentos rápidos de biodiversidade e inventários taxonômicos, ou em programas de biomonitoramento de qualidade ambiental em projetos de pesquisa e prestação de serviços.

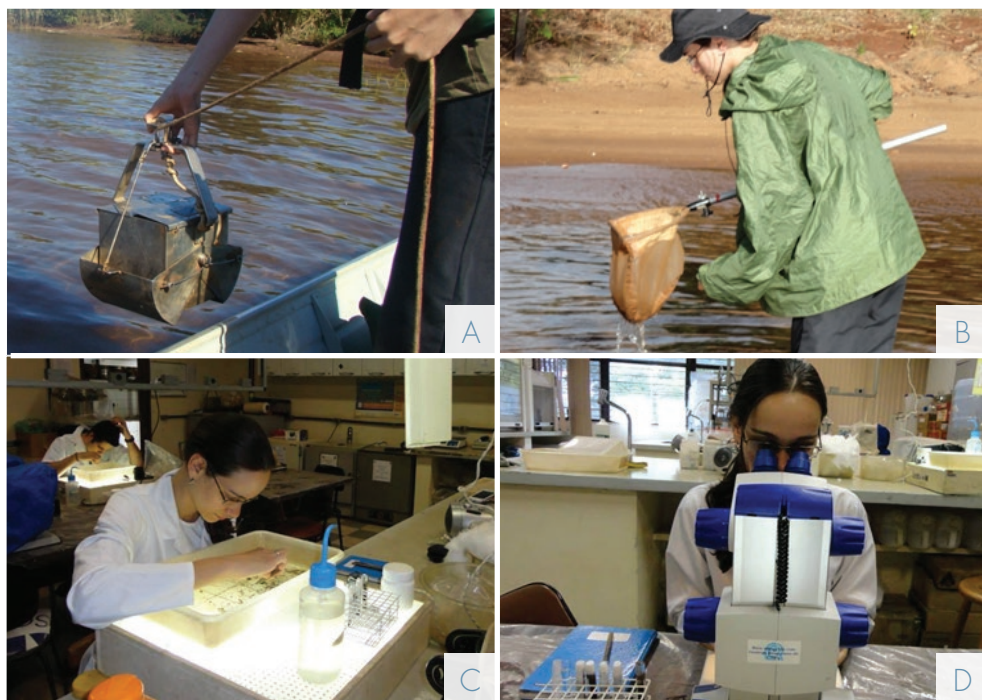


FIGURA 5 – Coleta de macroinvertebrados bentônicos com draga de Eckman-Birge (A) e kick-net (B) e processamento das amostras em laboratório na UFMG (C, D).

2.1 A aplicação da metodologia do projeto IBI-Cemig em reservatórios no semiárido paraibano e sua potencialidade em estudos no nordeste do Brasil

O Protocolo da US-EPA foi também aplicado em três reservatórios na bacia do rio Paraíba, no nordeste do Brasil: Acauã, Boqueirão e Poções (Figura 6). Através de uma parceria entre os programas de Pós-graduação em Ecologia da UFMG e da UEPB, professores e Pós-graduandos foram treinados durante atividades de campo do projeto IBI-Cemig em Belo Horizonte e replicaram a metodologia na região semiárida do nordeste. Em cada reservatório foram definidos 20 sítios amostrais e aplicado o protocolo em 10 seções/sítio.

Foram avaliados o uso e ocupação do solo no entorno, mensurados parâmetros físicos e químicos de qualidade de água e avaliadas as comunidades de macroinvertebrados bentônicos na região litorânea.



FIGURA 6 – Reservatórios estudados no semiárido nordestino, bacia do rio Paraíba, PB (Acauã na 1ª linha, Boqueirão na 2ª linha, Poções na 3ª linha).

A bacia do rio Paraíba apresenta, assim como as demais regiões semiáridas no mundo, déficit hídrico em mais de 70% do ano, chuvas abaixo da média (600 mm), e longos períodos secos (8-9 meses/ano). Essas características comprometem a qualidade ambiental, o desenvolvimento econômico e a subsistência humana, com intensa pressão humana sobre

os recursos hídricos (Montenegro & Ragab, 2012). Os ecossistemas aquáticos no semiárido brasileiro constituem-se por lagos rasos naturais, reservatórios artificiais e rios e riachos intermitentes. Esses ecossistemas são particularidades na paisagem do semiárido e compreendem uma ampla variedade de sistemas associados, funcionando como um mosaico em constante mudança entre épocas de seca e chuva. Lagos e reservatórios no semiárido brasileiro estão sujeitos a prolongados períodos de escassez de água, enquanto que os rios e riachos são caracterizados como altamente variáveis e sujeitos a pulsos de inundação de curta duração e imprevisíveis (Barbosa et al., 2012). A manutenção da qualidade ambiental desses sistemas aquáticos é imprescindível, particularmente em regiões com escassez de água como no semiárido. Desse modo ferramentas que possam auxiliar na identificação de locais prioritários para a conservação ou mesmo que exigem dos órgãos gestores maiores cuidados são fundamentais.

Com a utilização do protocolo da US-EPA (modificado por Molozzi et al., 2012) foi possível discriminar, em cada reservatório, locais com melhor ou pior qualidade ambiental. Estudos futuros, no entanto, devem considerar adaptações ao protocolo em função da fisionomia e estrutura da Caatinga, vegetação característica do semiárido nordestino. Nos períodos secos a fisionomia arbóreo-arbustiva em geral caducifólia e xerofítica com ausência de estrato herbáceo (ervas, arbustos e gramíneas) contrasta com a formação e fisionomia do cerrado mineiro e outras ecorregiões naturais do Brasil. Deve-se considerar inclusive a restrição que a ausência dessas estruturas provoca na menor disponibilidade de habitats possíveis como abrigos ou disponibilidade de recursos para peixes nas áreas inundáveis e zonas ripárias dos ecossistemas aquáticos da região.

A avaliação dos distúrbios humanos nas zonas inundável e ripária em um gradiente de perturbação foi eficiente na classificação de locais mais e menos perturbados através do cálculo de um índice de distúrbio que considera escalas local e regional (Ligeiro et al., 2013) nos reservatórios do semiárido. Futuramente, a abordagem do Projeto IBI-Cemig tem potencial de ser amplamente aplicado no semiárido nordestino para subsidiar a proposição de medidas de gestão de bacias hidrográficas, considerando a conservação de ecossistemas aquáticos e sua biodiversidade. A metodologia do IBI é fundamental para auxiliar no melhor entendimento dos processos de uso e ocupação do solo nos reservatórios do semiárido, principalmente na perspectiva dos cenários futuros de transposição de águas do rio São Francisco para bacias como a do rio Paraíba, evento que representará uma transformação social, econômica e ambiental na região.

2.2 A indicação de metodologias de análises de dados e abordagens ecológicas com Máximo Potencial Ecológico nos reservatórios da Cemig

Na perspectiva de avaliação de distúrbios antrópicos em reservatórios uma outra abordagem tem sido realizada em parceria com a Universidade Estadual do Oregon (OSU), a Agência de Proteção Ambiental Americana (US-EPA) e com colegas da Universidade de Coimbra, Portugal. Os sítios amostrais de características semelhantes são agrupados e são utilizados índices de distúrbio, que também consideram impactos em escala regional (uso e ocupação do solo) e local (integridade da mata ciliar). Esses índices consideram que valores iguais a zero representam sítios sob mínima influência de atividades humanas, sendo os maiores valores atribuídos aos sítios mais impactados. Esses dois índices são combinados e a partir disso é possível obter um gradiente distúrbio antrópico para cada um dos empreendimentos estudados.

Na União Europeia é utilizado o conceito de Máximo Potencial Ecológico para identificar condições minimamente alteradas por atividades humanas em ecossistemas lacustres artificiais como os reservatórios. Esses locais são, portanto, candidatos a serem classificados como áreas de referência. No Brasil essa abordagem foi proposta recentemente após utilização dos Protocolos de Avaliação de Habitats do US-EPA, adaptados para reservatórios na bacia do rio Paraopeba, em Minas Gerais (Molozzi et al., 2013). Essa abordagem tem potencial aplicação também em empreendimentos hidrelétricos da Cemig.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram encontrados 42.513 mil macroinvertebrados nos reservatórios de Nova Ponte (38,7%), Três Marias (12,8%), Volta Grande (18,8%) e São Simão (29,7%). Desses, os principais grupos taxonômicos foram larvas de Chironomidae (61,8%), Oligochaeta (9,5%) e espécies invasoras (*Melanoides tuberculatus*, *Corbicula fluminea*, *Limnoperna fortunei* e *Macrobrachium amazonicum* – 10,5%). Devido à sua maior abundância numérica e reconhecido papel ecológico em reservatórios e lagos, as larvas de Chironomidae foram identificadas em gêneros, tendo sido encontrados 21 gêneros em Nova Ponte, 34 em três Marias, 29 em Volta Grande e 26 em São Simão.

A avaliação do uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios estudados evidenciou usos distintos em cada uma de suas bacias de drenagem (Figura 7).

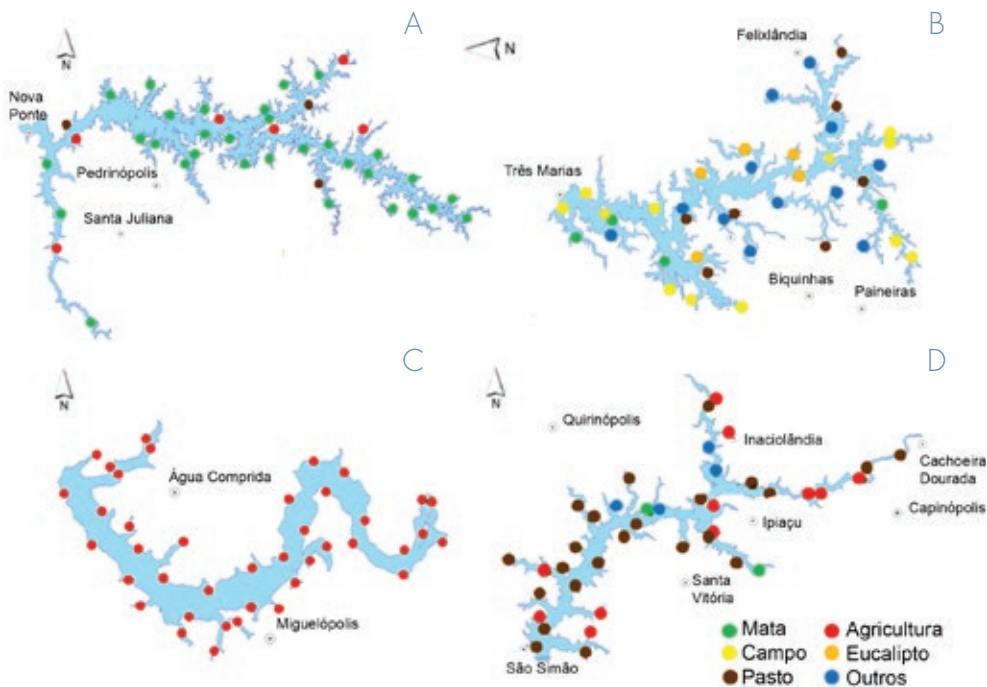


FIGURA 7 – Avaliação do uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios de Nova Ponte (A), Três Marias (B), Volta Grande (C) e São Simão (D), MG.

No reservatório de Nova Ponte há predominância de vegetação natural (mata – 33,6% e campo – 34,1%). Dentre os impactos humanos observados, o uso agrícola está entre os usos antrópicos predominantes no entorno do reservatório (21,7%), sendo o principal responsável pelo desflorestamento da cobertura vegetal nativa. Os demais usos são representados por pasto (9,4%), solo nu (0,9%) e construções (0,3%).

O entorno do reservatório de Três Marias é principalmente ocupado por campos (30%) e matas (27%), o que indica que mais da metade do entorno do reservatório é composto por cobertura vegetal natural (ainda não substituída por cultivos agrícolas). Além disso, o entorno do reservatório é ocupado por plantações de *Eucalyptus* (16,31%), pastagens (10,68%), áreas agrícolas (10,59%), solo nu (4,09%), vegetação inundada (1,15%) e construções (0,41%).

O uso e ocupação do solo no entorno do reservatório de Volta Grande caracteriza-se por atividades agrícolas (87%), com pequenas manchas de matas (6%); campos (4%); pasto, construções e estradas (3%).

No reservatório de São Simão foram observadas coberturas por pastagens (45%), agricultura (25%), depleções no nível de água (10%), solo nu (8%), mata (7%), campo (3,5%), construções (1,3%) e vegetação inundada (0,2%).

A avaliação de qualidade ambiental em macro e mesoescalas identificou cenários de distúrbio antrópico classificados em baixo, médio e alto nos reservatórios estudados (Figuras 8 e 9).

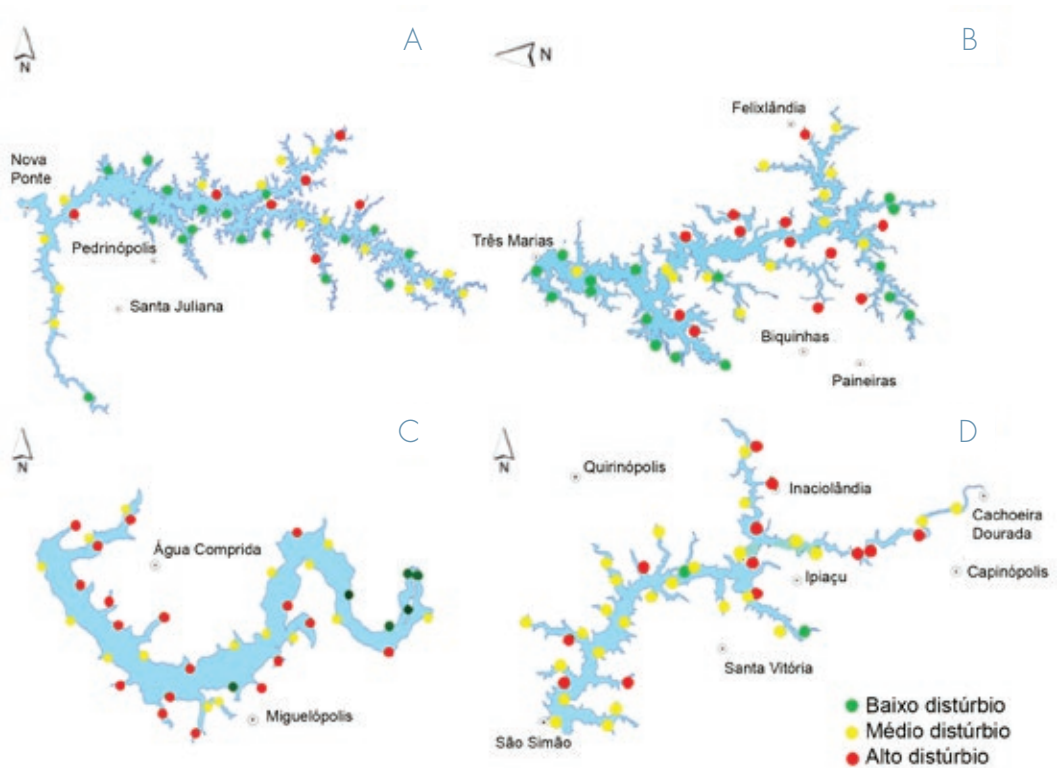


FIGURA 8 – Níveis de distúrbios antrópicos em macroescala (uso e ocupação do solo) avaliados nos reservatórios Nova Ponte (A), Três Marias (B), Volta Grande (C) e São Simão (D), MG.

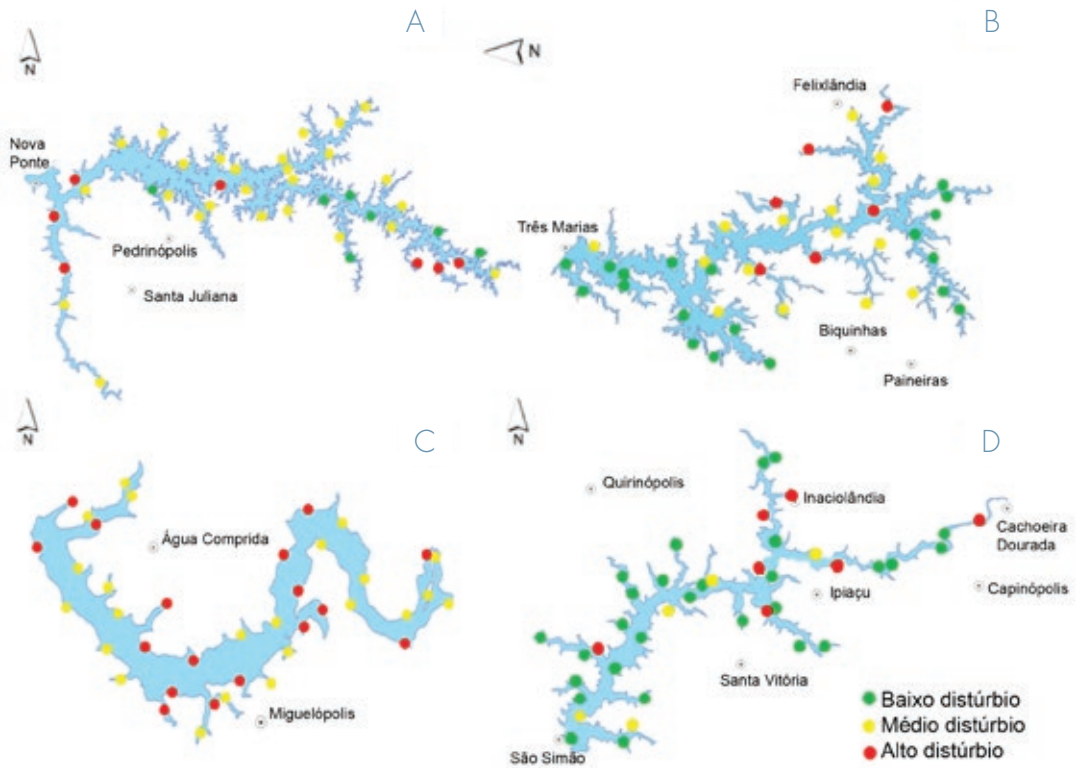


FIGURA 9 – Níveis de distúrbios antrópicos em mesoescala (integridade da mata ciliar) avaliados nos reservatórios Nova Ponte (A), Três Marias (B), Volta Grande (C) e São Simão (D), MG.

Segundo a classificação em níveis de distúrbio em macroescala (uso do solo), 45% da região litorânea do reservatório de Nova Ponte encontra-se em baixo distúrbio. Outros 37,5% foram classificados em médio distúrbio e 17,5% dos sítios amostrais em alto distúrbio. Em mesoescala (integridade da mata ciliar) a maior parte dos sítios amostrais foi classificada em baixo distúrbio (52,5%). 30% dos sítios amostrais foram classificados médio distúrbio e 17,5% em alto distúrbio.

Foi observado que, em macroescala, 42% dos sítios amostrais do reservatório de Três Marias foram classificados em baixo distúrbio, 26% em médio e 32% em alto distúrbio. Em mesoescala foi verificado que 48% dos sítios amostrais apresentaram baixo distúrbio, 37% médio e 15% alto distúrbio.

Em macroescala 45% dos sítios amostrais do reservatório de Volta Grande foram classificados como em alto distúrbio, 40% em médio distúrbio e apenas 15% em baixo distúrbio. A classificação dos sítios amostrais em mesoescala foi realizada em apenas dois grupos: alto e médio distúrbios. Sendo que 58% dos locais foram classificados em alto distúrbio e 42% em médio distúrbio.

No reservatório de São Simão somente 5% dos sítios amostrais foram classificados em baixo distúrbio em macroescala. 65% dos sítios amostrais estiveram em médio distúrbio e 30% em alto distúrbio. Em mesoescala 70% dos sítios amostrais foram classificados em baixo distúrbio, 12,5% em médio distúrbio e 17,5% em alto distúrbio.

Não foi possível classificar os sítios amostrais em níveis de distúrbios em microescala (características físicas e químicas da água e sedimento), pois os parâmetros físicos e químicos mensurados não apresentaram variação entre os sítios amostrais, o que indica que os reservatórios são homogêneos quanto às suas características em microescala. Deve-se considerar o aspecto que o desenho amostral deste projeto prevê apenas uma única coleta por sítio amostral, não permitindo, portanto, avaliações em escala temporal nem a identificação de padrões de estratificação vertical, horizontal, térmica ou química na coluna d'água.

O estudo das comunidades de macroinvertebrados bentônicos nos reservatórios evidenciou riqueza e composição de grupos de organismos distintas em cada empreendimento (Figuras 10 e 11). Na avaliação de qualidade ambiental um dos enfoques utilizados foi o de avaliar a ocorrência e distribuição de espécies exóticas (Figura 12).

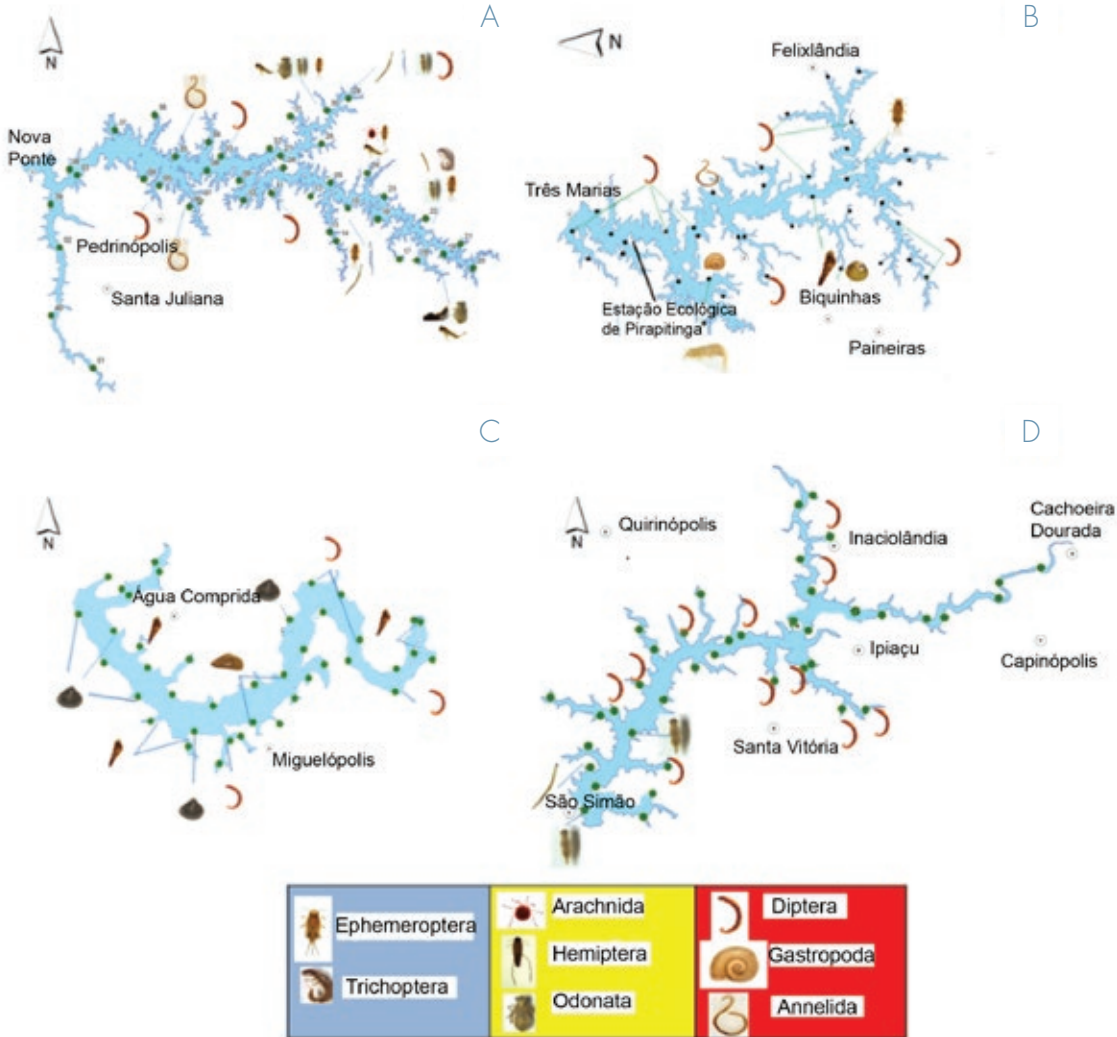


FIGURA 10 – Composição das comunidades de macroinvertebrados bentônicos nos reservatórios Nova Ponte (A), Três Marias (B), Volta Grande (C) e São Simão (D), MG. Em azul, macroinvertebrados bentônicos sensíveis a poluição, em amarelo, tolerantes, em vermelho, resistentes.



FIGURA 11 – Principais grupos de macroinvertebrados bentônicos encontrados nos reservatórios estudados. (1) Trichoptera (Polycentropodidae), (2) Ephemeroptera (Leptohiphidae), (3) Hemiptera (Notonectidae), (4) Decapoda (Palaemonidae/*Macrobrachium amazonicum*), (5) Odonata (Libellulidae), (6) Diptera (Chironomidae), (7) Gastropoda (Thiaridae/*Melanoides tuberculatus*) e (8) Annelida (Oligochaeta).

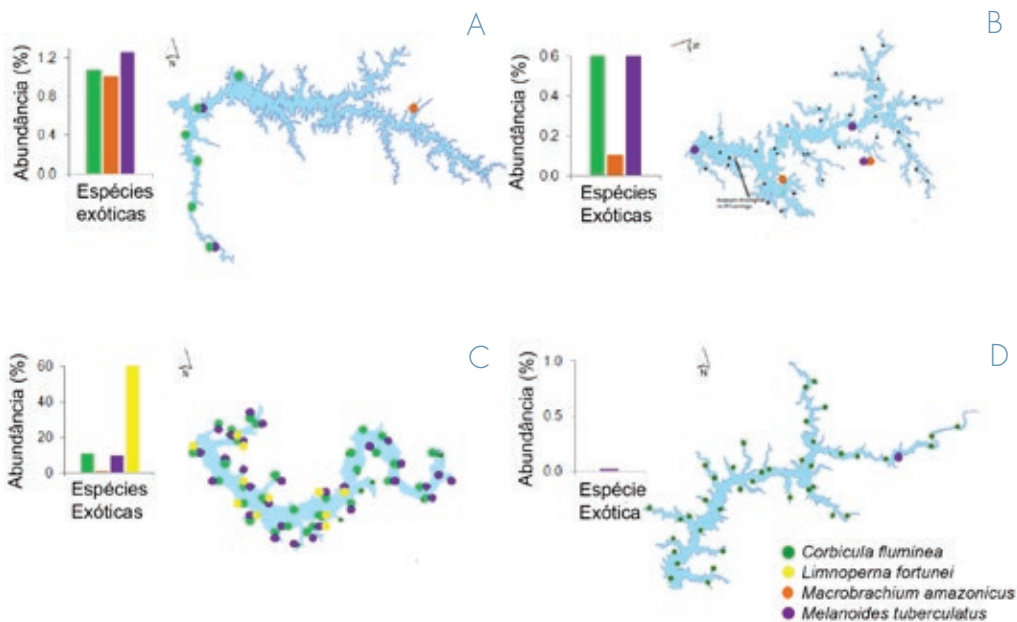


FIGURA 12 – Ocorrência e distribuição de espécies exóticas nos reservatórios Nova Ponte (A), Três Marias (B), Volta Grande (C) e São Simão (D), MG.

No reservatório de Nova Ponte foram encontrados 1.116 organismos distribuídos em 18 táxons nas amostras coletadas com draga de Eckman-Birge. Os grupos mais abundantes foram Chironomidae (46%) e Oligochaeta (42%). Dentre os organismos da família Chironomidae foram encontrados 462 indivíduos e identificados 21 gêneros. Nas amostragens com *kick-net* foram registrados 15.340 indivíduos distribuídos em 36 taxa. Os mais abundantes foram Chironomidae (63%) e Oligochaeta (16%). Também foram registradas as espécies exóticas *Corbicula fluminea* e *Melanooides tuberculatus* em seis sítios amostrais (próximos à barragem), e 567 indivíduos da espécie de Decapoda *Macrobrachium amazonicum* em 18 amostras coletadas com *kick-net*.

No reservatório de Três Marias as amostragens da comunidade de macroinvertebrados bentônicos com draga de Eckman-Birge resultaram em um total de 976 indivíduos (23 taxa) distribuídos nos 40 sítios amostrais no reservatório. A família Chironomidae foi representada por 698 indivíduos (72%) distribuídos em 24 gêneros. As amostragens com *kick-net* registraram 4.464 indivíduos (21 taxa) distribuídos nos 40 sítios amostrais do reservatório. Foram coletados 2.874 indivíduos (64%) da família Chironomidae, distribuídos

em 25 gêneros. Foi registrada a presença de indivíduos das espécies exóticas *Melanooides tuberculatus* (0,6%), *Corbicula fluminea* (0,6%) e *Macrobrachium amazonicum* (0,1%).

Foi encontrado no reservatório de Volta Grande um total de 3.737 indivíduos distribuídos em 17 grupos taxonômicos, coletados com draga Eckman-Birge. Dentre os grupos mais abundantes estavam as espécies de moluscos exóticos *Limnoperna fortunei* (60,85%), *Corbicula fluminea* (9,98%) e *Melanooides tuberculatus* (9,77%) e a família Chironomidae (14,16%). A família Chironomidae foi representada por 486 indivíduos distribuídos em 23 gêneros. As amostragens da comunidade de macroinvertebrados com *kick-net* registraram um total de 4.234 indivíduos distribuídos em 40 grupos taxonômicos. Dentre os grupos mais abundantes estavam Chironomidae (29,1%), Baetidae (14,1%), Oligochaeta (10,7%) e o molusco exótico *Melanooides tuberculatus* (10,2%). Foram registrados 1.200 indivíduos da família Chironomidae coletados com *kick-net*.

No reservatório de São Simão foram registrados 3.693 organismos coletados com draga de Eckman-Brige, distribuídos em um total de 14 táxons. A família Chironomidae foi representada por 96% dos organismos, sendo encontrados 3.536 indivíduos distribuídos em 26 gêneros. A partir da amostragem com *kick-net* foram registrados 8.921 organismos, distribuídos em 25 gêneros. Assim como na amostragem com draga de Ecman-Birge, a família Chironomidae também foi dominante (81%). Foi registrada também a presença de organismos da espécie exótica *Melanooides tuberculatus* (0,01%).

A introdução de espécies exóticas pode estar relacionada a atividades comerciais (Fernandez et al., 2003) e, no caso de *C. fluminea*, ao combate ao *Biomphalaria glabrata*, hospedeiro intermediário de *Schistosoma* spp., pelo fato de ser seu possível competidor (Giovannelli et al., 2002). Um dos problemas causados em decorrência da introdução dessas espécies é o entupimento de tubulações de represas e estruturas hidrelétricas (Silva & Barros, 2011). A invasão de espécies exóticas é atualmente considerada a segunda maior causa de perda de biodiversidade em escala global (Coradin & Tortato, 2006) e pode ocasionar mudanças na estrutura e funcionamento dos ecossistemas (Silva & Barros, 2011).

A partir da amostragem com draga de Eckman-Birge foram realizadas também estimativas de riqueza de taxa para famílias de macroinvertebrados bentônicos e gêneros de Chironomidae nos reservatórios estudados (Figura 13). Para cada um dos reservatórios foi observado padrão semelhante de riqueza observada para famílias de macroinvertebrados bentônicos e gêneros de Chironomidae, o que pode ser observado pelas curvas de acumulação de taxa.

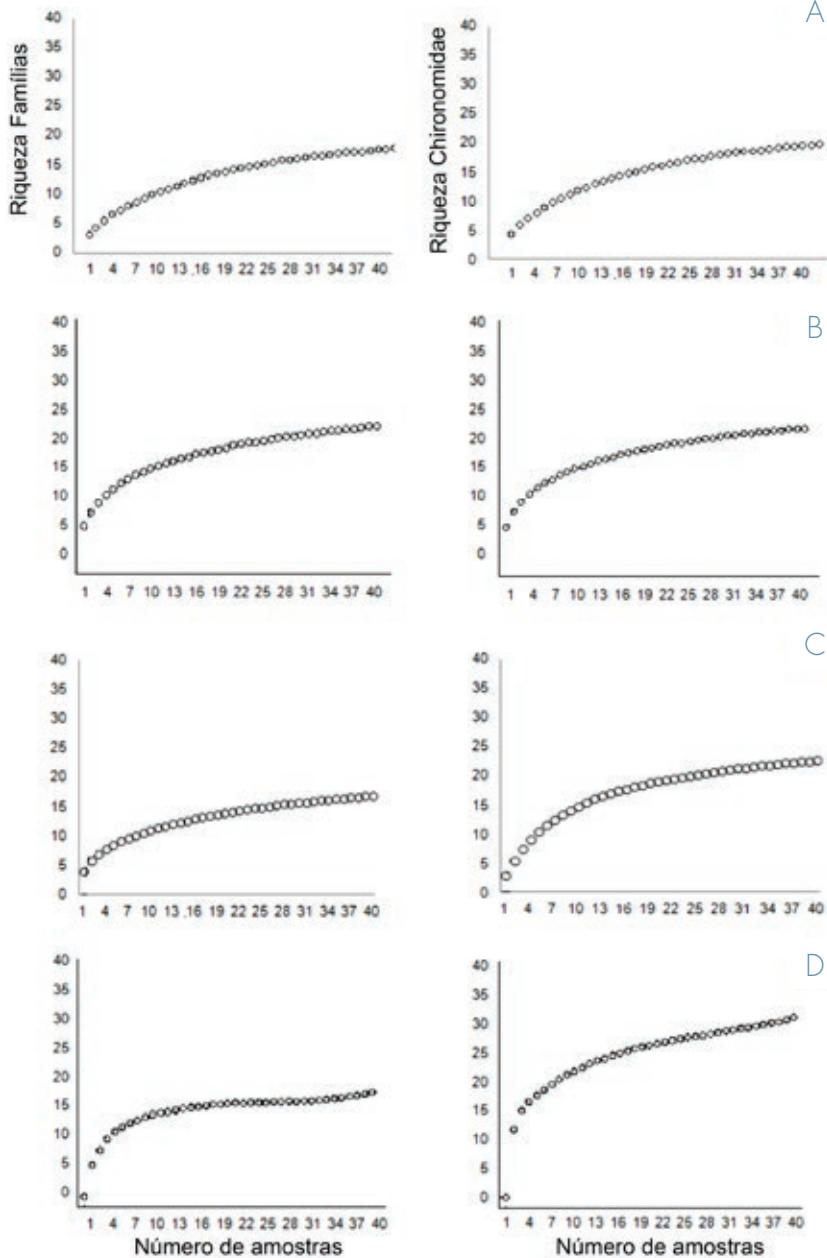


FIGURA 13 – Riqueza observada para famílias de macroinvertebrados bentônicos e gêneros de Chironomidae nos reservatórios Nova Ponte (A), Três Marias (B), Volta Grande (C) e São Simão (D), MG.

4 – AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS DE ACORDO COM NÍVEIS DE DISTÚRBIOS

Foi observado neste estudo que a distribuição dos organismos bentônicos não foi explicada pelas condições de qualidade ambiental dos sítios amostrais em macroescala (uso e ocupação do solo) e mesoescala (integridade da mata ciliar). Por outro lado, é possível que outros fatores tenham influenciado a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, como a flutuação no nível de água nos reservatórios. Diante disso, é provável que a fauna encontrada tenha sido composta por organismos que colonizaram o ambiente após a estação seca anterior às amostragens nos reservatórios.

No estudo realizado no reservatório de Três Marias (Morais, 2013) foi observado que o período de depleção do reservatório na estação seca anterior às amostragens foi responsável pela diminuição de 10 metros de profundidade do reservatório e pela redução horizontal de 113 metros (em média) do nível de água na região litorânea. Considerando que o Protocolo do US-EPA é aplicado na região litorânea, provavelmente a exposição dos sedimentos durante a seca anterior ocasionou a desestruturação das comunidades bentônicas, resultando na composição de comunidades decorrentes possivelmente de processos de colonização.

5 – PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A conservação de sítios amostrais e regiões dos reservatórios hidrelétricos em condições de baixo distúrbio deve ser uma prioridade, a fim de manter as características das áreas em melhores cenários de qualidade ambiental nos reservatórios. Por outro lado, sítios amostrais classificados em médio e alto distúrbios devem ser submetidos à reabilitação (recuperação de pelo menos algumas das funções do ecossistema e recolonização por algumas das espécies originais) ou sua restauração (restabelecimento da área em sua composição original de espécies e estrutura através de programas de reintrodução).

Programas de controle e erradicação de espécies invasoras em águas brasileiras precisam ser desenvolvidos na tentativa de contornar a situação alarmante em que o país se encontra em relação a invasores. Tais programas devem incluir uma análise de risco levando em conta o custo-benefício das ações, os impactos aos ecossistemas naturais e os impactos sociais e econômicos.

Além de aspectos em macro, meso e microescalas, outros fatores de influência sobre comunidades bentônicas devem ser considerados, como a flutuação no nível de água de reservatórios. É importante que haja um esforço conjunto entre governo, órgãos ambientais e empresas privadas para o desenvolvimento de pesquisas ecológicas sobre avaliações de qualidade ambiental e para práticas futuras de conservação, reabilitação e restauração de ecossistemas aquáticos artificiais, desenvolvidos durante períodos hidrológicos completos, por períodos longos de tempo (p.ex. mínimo de 10 anos).

No caso de empreendimentos hidrelétricos, essa preocupação em monitorar sua qualidade ambiental é de extrema importância, pois é um recurso natural modificado pelo homem, sensível às alterações ao longo do tempo e sujeito a múltiplos usos. Investimentos na melhoria de condições ambientais garantirão integridade ambiental, qualidade de água, conservação de biodiversidade e provimento de bens e serviços dos reservatórios hidrelétricos para o bem-estar da sociedade humana.

6 – AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG e do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas pelo apoio em campo e laboratório. À Cemig – Programa Peixe Vivo pelo financiamento do projeto, CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio na forma de bolsas. MC recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq No. 302960/2011-2) e bolsa de pesquisador mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00077/13).

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, A.A.; PELICICE, F. M. & GOMES, L.C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, n. 4, p. 1119-1132, 2008.

BARBOSA, J.E.L.; MEDEIROS, E.S.F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R.S.; CRISPIM, M.C.B. & SILVA, G.H.G. Aquatic systems in semi-arid brazil: limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 24, n.1, p. 103-118, 2012.

BORGES, H.; CASTRO, R.; ALVES, A.; RAMALHO, D.; LIMA, E.; QUEIROZ, A.; MELO, V. & SEVERI, W. Caracterização da comunidade de macroinvertebrados bentônicos no reservatório de Sobradinho e Submédio Rio São Francisco. In: MOURA, Ariadne do Nascimento et al. *Reservatórios do Nordeste do Brasil: biodiversidade, ecologia e manejo*. Bauru-SP: Canal 6, p. 479-502, 2010.

CORADIN, L. & TORTATO, D.T. *Espécies Exóticas Invasoras: Situação Brasileira*. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília: MMA, 2006.

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

FRANKLIN, K.L.; DIETRICH, W.E. & TRUSH, W.J. Downstream ecological effects of dams, a geomorphic perspective. *Bioscience*, v. 45, n. 3, p. 183-192, 1995.

GIOVANELLI, A.; VIEIRA, M.V. & SILVA, C.L.P.A.C. Interaction between the intermediate host of Schistosomiasis in Brazil *Biomphalaria glabrata* (Planorbidae) and a possible competitor *Melanoides tuberculata* (Thiaridae): I. Laboratory Experiments. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 97, n. 3, p. 363-369, 2002.

KAUFMANN, P. R. & WHITTIER, T.R. Habitat characterization. In: BAKER, J.R.; PECK, D.V. & SUTTON, D.W. (editors). *Environmental Monitoring and Assessment Program Surface Water: Field Operations Manual for Lakes*. EPA/620/r-97/001, US. Environmental Protection Agency: Corvallis, OR., v. 5, n. 1, p. 5-26, 1997.

LIGEIRO, R.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; MACEDO, D.R.; FIRMIANO, K.R.; FERREIRA, W.; OLIVEIRA, D.; MELO, A.S. & CALLISTO, M. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. *Ecological Indicators*, v. 25, p.45-57, Feb. 2013.

- MACEDO, D.R. & CALLISTO, M. Desenho amostral espacialmente balanceado na avaliação ambiental de uma bacia hidrográfica no Cerrado mineiro. In: VI Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – GEONORDESTE, Aracaju-SE, 26-30 de Novembro de 2012.
- MOLOZZI, J.; FEIO, M.J.; SALAS, F.; MARQUES, J.C. & CALLISTO, M. Development and test of a statistical model for the ecological assessment of tropical reservoirs based on benthic macroinvertebrates. *Ecological Indicators*, v. 23, p. 155-165, 2012.
- MOLOZZI, J.; FEIO, M.J.; SALAS, F.; MARQUES, J.C. & CALLISTO, M. Maximum ecological potential of tropical reservoirs and benthic invertebrate communities. *Environmental Monitoring Assessment*, DOI 10.1007/s10661-012-3049-3, 2013.
- MONTENEGRO, S. & RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in semi-arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 434-435, p. 55-68, April, 2012.
- MORAIS, L. Avaliação da qualidade ambiental em um reservatório tropical em diferentes escalas espaciais. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Minas Gerais, 62 p., 2013.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858, 2000.
- ROCHA, O.; ESPINDOLA, E.L.G.; RIETZLER, A.C.; FENERIC-VERANI, N. & VERANI, JR. Animal invaders in São Paulo state reservoirs. *Oecologia Australis*, v. 15, n. 3, p. 631-642, 2011.
- SILVA, E.C. & BARROS, F. Macrofauna bentônica introduzida no Brasil: lista de espécies marinhas e dulcícolas e distribuição atual. *Oecologia Australis*, v. 15, n. 2, p.326-344, 2011.

TIEMANN, J.S.; GILLETTE, D.P.; WILDHABER, M.L. & EDDS, D.R. Effects of lowhead dams on riffle-dwelling fishes and macroinvertebrates in a midwestern river. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 133, p. 705-717, 2004.

TUPINAMBÁS, T.H.; CORTES, R.M.V.; VARANDAS, S.G.; HUGHES, S.J.; FRANÇA, J. & CALLISTO, M. Taxonomy, metrics or traits? Assessing macroinvertebrate community responses to daily flow peaking in a highly regulated Brazilian river system. *Ecohydrology*, v. 7, n. 2, p. 828-842, 2014.

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 8

A ICTIOFAUNA DE QUATRO RESERVATÓRIOS DA CEMIG: CARACTERIZAÇÃO DAS COMUNIDADES

BÁRBARA DE OLIVEIRA SANCHES, BÁRBARA BECKER,
PEDRO LUIS ANDRADE GOMES & GILMAR BASTOS SANTOS

SANCHES, B.O.; BECKER, B.; GOMES, P.L.A. & SANTOS, G.B. A ictiofauna de quatro reservatórios da Cemig: caracterização das comunidades. 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, v. 1, p. 185-214, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – INTRODUÇÃO

A construção de barragens para a geração de energia elétrica constitui uma das alterações antrópicas mais frequentes em rios brasileiros (Agostinho et al., 2007). Atualmente, a maior parte dos grandes rios do país está sob a influência desse tipo de empreendimento, somando mais de 700 usinas construídas (Agostinho et al., 2008). Muitas dessas usinas localizam-se nas bacias dos rios São Francisco e, principalmente, do Paraná, incluindo seus grandes afluentes, como o Paranaíba, Grande e Iguaçu. Assim, o potencial de geração das regiões Sul, Sudeste e Nordeste já está quase que integralmente explorado (ANEEL, 2002).

As alterações físico-químicas decorrentes da implantação de um reservatório são as principais responsáveis por modificações nas comunidades aquáticas (Cecilio et al., 1997). Em reservatórios oligotróficos, as condições são particularmente inóspitas: habitat físico simplificado, baixa concentração de nutrientes, alta transparência e águas estratificadas térmica e quimicamente. Em decorrência desse novo ambiente, mudanças como a perda de espécies adaptadas aos habitat fluviais e eliminação local de espécies migradoras são observadas (Gao et al., 2010). A reestruturação das assembleias de reservatórios é marcada pela extinção de espécies nativas e pela drástica alteração na abundância da maioria delas (Gomes & Miranda, 2001), já que poucas espécies são capazes de colonizar com sucesso o novo ambiente formado.

As espécies nativas remanescentes acabam se restringindo aos locais com características mais semelhantes ao ambiente fluvial (Gao et al., 2010), como a região riverina e os tributários do reservatório. Consequentemente, nestes locais, são verificadas maior riqueza e diversidade (Terra et al., 2010).

Além dos problemas supracitados, a implantação de reservatórios aumenta as chances do amplo estabelecimento de espécies introduzidas (Gido & Matthews, 2000). Estas espécies alteram a cadeia alimentar (Mercado-Silva et al., 2009), predam as espécies nativas (Terra et al., 2010) e competem por alimento.

Inúmeros estudos são conduzidos com o intuito de compreender a dinâmica das comunidades de peixes em reservatórios. Entretanto, a maioria utiliza poucos pontos amostrais e não busca conhecer a distribuição espacial da ictiofauna nesse tipo de ambiente de forma mais ampla.

O presente estudo foi desenvolvido através de uma ampla rede amostral definida nos

reservatórios de São Simão (rio Paranaíba), Nova Ponte (rio Araguari), Volta Grande (rio Grande) e Três Marias (rio São Francisco). Foram avaliados os seguintes atributos das comunidades de peixes destes reservatórios: composição, abundância e riqueza de espécies, bem como detectar eventuais padrões espaciais na distribuição da ictiofauna destes reservatórios.

2 – METODOLOGIA

2.1 Áreas de estudo

A região estudada compreende o trecho superior de duas grandes bacias neotropicais: as dos rios Paraná e São Francisco. Na bacia do rio Paraná, foram selecionadas três das principais drenagens do estado de Minas Gerais: o rio Paranaíba e seu principal afluente, o rio Araguari e o rio Grande. Em cada drenagem, um reservatório da Cemig foi amostrado, sendo eles: São Simão, Nova Ponte e Volta Grande, localizados na bacia do Paraná; e Três Marias, na bacia do rio São Francisco.

A UHE São Simão, implantada no rio Paranaíba em 1978, localiza-se no município homônimo, na divisa dos estados de Minas Gerais e Goiás. Possui potência instalada de 1.710 MW e seu reservatório apresenta um volume útil de 5,54 bilhões de m³ (Cemig, 2013).

A UHE Nova Ponte, localizada em Nova Ponte (MG), foi implantada no trecho médio do rio Araguari e entrou em operação em 1994. Sua capacidade instalada é de 510 MW e o reservatório possui volume útil de 10,37 bilhões de m³ (Vono, 2002).

A UHE Volta Grande localiza-se no município de Conceição das Alagoas, na divisa dos estados de Minas Gerais e São Paulo. Foi implantada no rio Grande em 1974 e possui potência de 380 MW. Seu reservatório possui volume útil de 268 milhões de m³ (Cemig, 2013) sendo um dos 12 construídos em cascata no rio Grande. É o menor reservatório dentre os quatro amostrados e o único que não possui grandes variações no nível da água.

A UHE Três Marias localiza-se no município de Três Marias (MG) e entrou em operação em 1962. Possui potência instalada de 396 MW, e volume útil de 15,28 bilhões de m³, sendo a única barragem construída na calha do rio São Francisco em seu trecho superior (Godinho & Godinho, 2003).

2.2 – Amostragem da ictiofauna

As capturas de peixes foram realizadas entre 2010 e 2013, ao final do período chuvoso de cada ano. Em cada um dos reservatórios foram definidos, aleatoriamente, 40 pontos (conforme metodologia descrita no capítulo 3 deste livro). As amostragens foram realizadas na região litorânea de cada um dos pontos selecionados.

Para a captura dos peixes, foram utilizadas redes de emalhar com comprimento de 20 m e tamanhos de malha variando entre 3 e 16 cm (distância entre nós opostos). As redes foram armadas aos pares, sendo as malhas menores colocadas próximo à margem em um ângulo aproximado de 45°. Foi mantida uma distância de 40 metros entre cada par de redes.

Os exemplares capturados foram fixados em solução de formol 10% e transportados para o laboratório do PPG-Zoologia de Vertebrados da PUC Minas, onde foram lavados e transferidos para solução de álcool 70°. Posteriormente, foram obtidos o comprimento padrão (cm), e peso corporal (g), de cada espécime. A identificação foi baseada em chaves taxonômicas apropriadas, como Britski et al. (1986) e Graça & Pavanelli (2007). Alguns exemplares foram depositados como material testemunho nas coleções ictiológicas do Museu de História Natural da PUC-MG, bem como em coleções da Universidade Estadual de São José do Rio Preto (São Paulo) e da Universidade Estadual de Maringá (Paraná).

Foram consideradas “introduzidas” as espécies provenientes de outras bacias ou que originalmente não pertenciam aos trechos estudados da bacia do alto Paraná (reservatórios de Volta Grande, Nova Ponte e São Simão) e São Francisco (reservatório de Três Marias).

O número total de espécies capturadas foi utilizado como indicador da riqueza em cada estação e reservatório amostrado. A abundância em relação ao esforço de captura empregado foi determinada através da captura por unidade de esforço (CPUE), definida como o somatório do número (CPUE_n) ou biomassa (CPUE_b em kg) de peixes/100 m² de redes empregadas em 15 horas de operação. Este procedimento possibilitou comparações quantitativas entre espécies, pontos de amostragem e reservatórios amostrados.

3 – RESULTADOS

Nos quatro reservatórios amostrados, foram registradas 93 espécies de peixes, distribuídas em 21 famílias e 4 ordens (Anexo 1). Para a bacia do alto rio Paraná houve o registro de 70 espécies, 4 ordens e 19 famílias. Na bacia do rio São Francisco (reservatório de Três Marias) a riqueza foi de 37 espécies, abrangendo 4 ordens e 17 famílias. Parte das espécies capturadas no presente trabalho está ilustrada no Anexo 2.

Nos quatro barramentos avaliados, a ordem Characiformes foi a mais representativa em número de espécies, seguida por Siluriformes (Três Marias e São Simão), Perciformes (Volta Grande) ou por esses dois taxa (Nova Ponte). A ordem Gymnotiformes, ausente em Nova Ponte, foi a menos representativa em número de espécies nos demais locais estudados.

Dentre os reservatórios amostrados, São Simão foi o que exibiu a maior riqueza (49), seguido por Três Marias (37), Volta Grande (30) e Nova Ponte (29). O reservatório de Três Marias apresentou maior número de exemplares capturados (3.843), seguido por São Simão (2.843), Nova Ponte (2.463) e Volta Grande (1.488) (Tabela 1).

TABELA 1 – Número de exemplares, ordens, famílias e espécies diagnosticados para cada reservatório amostrado.

| | Alto Rio Paraná | | | Rio São Francisco |
|------------|-----------------|------------|--------------|-------------------|
| | São Simão | Nova Ponte | Volta Grande | Três Marias |
| Exemplares | 2.843 | 2.463 | 1.488 | 3.843 |
| Ordens | 4 | 3 | 4 | 4 |
| Famílias | 17 | 12 | 14 | 17 |
| Espécies | 49 | 29 | 30 | 37 |

Foram registradas 10 espécies migradoras em São Simão (correspondendo a 20% da riqueza determinada), 4 em Nova Ponte e Volta Grande (14% e 13%, respectivamente) e 6 em Três Marias (16%) (Figura 1). O baixo percentual de captura em número dessas espécies foi um padrão geral observado nos reservatórios estudados: São Simão (11%), Nova Ponte (10%), Volta Grande (5%) e Três Marias (4%). As famílias Anostomidae, Bryconidae e Prochilodontidae foram as únicas com representantes migradores registrados em todos os reservatórios amostrados.

A ocorrência de espécies introduzidas foi marcante entre os reservatórios estudados:

11 espécies em São Simão (correspondendo a 22% da riqueza), 5 em Nova Ponte (17%), 7 em Volta Grande (23%) e 3 em Três Marias (8%) (Figura 1). Capturas expressivas destas espécies foram constatadas principalmente para os reservatórios de São Simão (71%) e Volta Grande (60%). Em Nova Ponte e Três Marias, as espécies introduzidas corresponderam, respectivamente, a 10% e 20% das capturas totais.

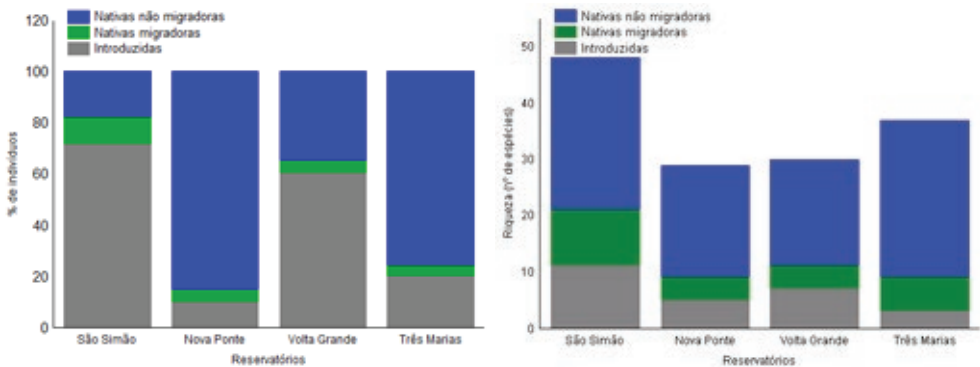


FIGURA 1 – Esquerda: Abundância relativa em número (% de indivíduos); Direita: Riqueza (número de espécies) registradas nos reservatórios das UHE's Nova Ponte, São Simão, Volta Grande e Três Marias, entre abril de 2010 e maio de 2013.

Em São Simão, as espécies mais abundantes, tanto em número quanto em biomassa, foram *Geophagus cf. proximus* e *Plagioscion squamosissimus* (Figura 2), ambas introduzidas na bacia do alto rio Paraná.

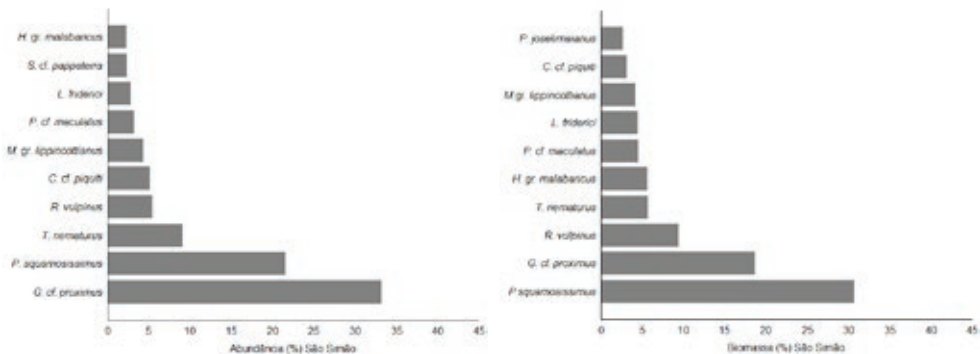


FIGURA 2 – Abundância em número (%) e biomassa (%) das dez espécies mais representativas de São Simão.

No reservatório de Nova Ponte, *Iheringichthys labrosus* e *Pimelodus maculatus* foram as espécies mais representativas em número, enquanto *Schizodon nasutus* e *Prochilodus lineatus* foram as espécies com maior biomassa. É importante ressaltar que apenas no reservatório de Nova Ponte as 5 espécies mais capturadas em número são nativas (Figura 3).

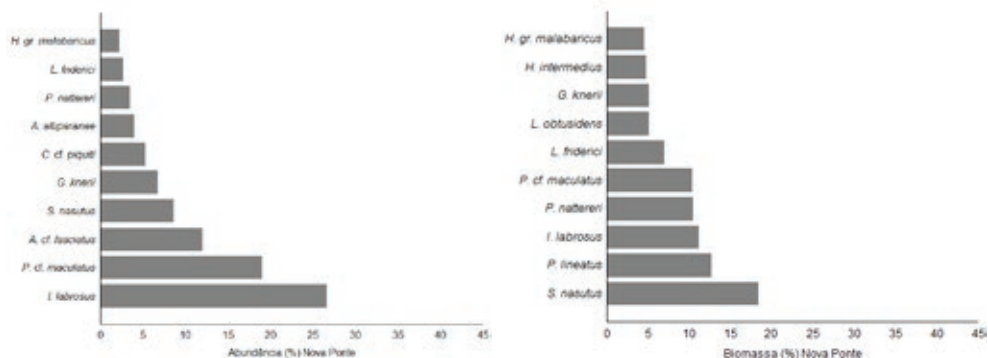


FIGURA 3 – Abundância em número (%) e biomassa (%) das dez espécies mais representativas de Nova Ponte.

Em Volta Grande, a espécie introduzida *P. squamosissimus* foi a mais abundante, tanto em número quanto biomassa, seguida por *Satanoperca pappaterra* (Figura 4).

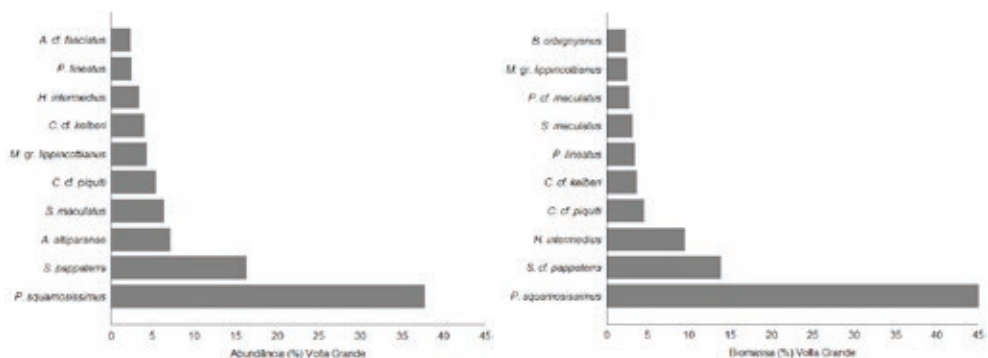


FIGURA 4 – Abundância em número (%) e biomassa (%) das dez espécies mais representativas em Volta Grande.

Seguindo o padrão geral observado nos demais reservatórios, em Três Marias uma espécie introduzida (*Cichla cf. piquiti*) foi a mais capturada em número e biomassa (Figura 5).

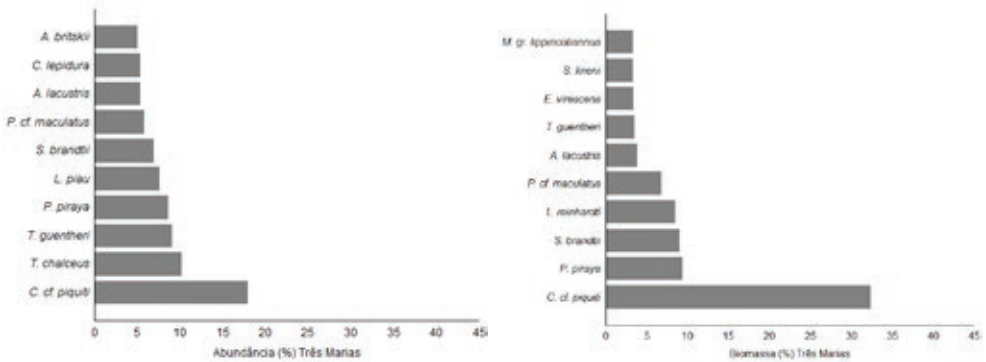


FIGURA 5 – Abundância em número (%) e biomassa (%) das dez espécies mais representativas de Três Marias.

Algumas das espécies predominantes em Nova Ponte e Volta Grande (*Astyanax cf. fasciatus*, *Hoplias intermedius* e *Hoplias gr. malabaricus*) são amplamente distribuídas na bacia do Alto Paraná. Outras frequentemente registradas em reservatórios brasileiros (*P. maculatus* e a introduzida *Cichla piquiti*) foram abundantes nos 4 locais estudados.

Outro padrão verificado nos reservatórios estudados foi a dominância de algumas espécies. Isto é válido especialmente para os reservatórios do Alto Paraná. As 5 espécies mais abundantes corresponderam a 74% das capturas totais em São Simão, 72% em Nova Ponte, 66% em Volta Grande e 52% em Três Marias.

A presença de tributários aparentemente influenciou a distribuição de espécies entre os locais amostrados. No reservatório de São Simão os pontos de amostragem localizados em tributários apresentaram maior riqueza média (tributários: $12,2 \pm 3,7$; reservatório: $10,7 \pm 1,8$), maior abundância total (tributários: $20,4 \pm 9,0$; reservatório: $18,7 \pm 10,9$) e de migradores (tributários: $2,4 \pm 2,2$; reservatório: $1,3 \pm 1,8$) e menor abundância média de espécies introduzidas (tributários: $9,4 \pm 6,5$; reservatório: $18,5 \pm 6,5$). O mesmo padrão foi verificado em Nova Ponte com maior riqueza média (tributários: $10,8 \pm 2,7$; reservatório: $9,1 \pm 2,3$) e maior abundância total (tributários: $16,1 \pm 9,3$; reservatório: $12,5 \pm 7,6$) e de migradores (tributários: $0,9 \pm 1,1$; reservatório: $0,5 \pm 0,8$) e menor abundância média de espécies introduzidas (tributários: $1,2 \pm 0,8$; reservatório: $1,5 \pm 1,3$). Em Três Marias verificou-se menor abundância de espécies introduzidas nesses locais (tributá-

rios: $5,0 \pm 4,0$; reservatório: $5,7 \pm 6,3$). Já em Volta Grande não foi verificada a influência de tributários sobre esses parâmetros.

4 – DISCUSSÃO

Empreendimentos hidrelétricos geram intensas respostas ambientais, que modificam os atributos físicos, químicos e biológicos do ambiente original, resultando na formação de um novo ecossistema. Os efeitos inevitáveis nas comunidades aquáticas incluem modificações na composição e abundância de espécies, com proliferação daquelas de maior plasticidade trófica e reprodutiva além da eliminação das mais sensíveis (Agostinho et al., 1999). Nestes ambientes são favorecidas as espécies sedentárias, com alta taxa de reprodução, baixa longevidade e adaptadas a ambientes semi-lênticos, enquanto o estabelecimento de peixes migradores e reofilicos é prejudicado (Agostinho et al., 1995).

A baixa ocorrência de espécies migradoras foi um padrão geral verificado entre os reservatórios estudados. Segundo Agostinho et al. (2008) somente 5% de 75 reservatórios brasileiros estudados apresentam mais do que três espécies migradoras entre as mais abundantes. O comportamento reprodutivo dessas espécies inclui grandes migrações para áreas de desova e o deslocamento de ovos e larvas para lagoas marginais, locais onde ocorre o seu desenvolvimento inicial (Suzuki et al., 2011). O declínio dos migradores reflete a vulnerabilidade destas espécies à perda de conectividade, à modificação do ambiente de lótico para lêntico e aos impactos decorrentes do uso antrópico do solo (p.ex. agricultura, pasto, urbanização).

Espécies abundantes em reservatórios são geralmente de baixo valor comercial, ampla distribuição em seus locais de origem e grande tolerância às interferências ambientais, características que permitem sua sobrevivência em ambientes modificados (Brandão, 2007). A ampla presença de *P. maculatus* nos quatro reservatórios estudados pode estar relacionada à sua tolerância fisiológica e plasticidade comportamental. Alguns autores constataram a ampla distribuição ou presença dessa espécie entre as mais capturadas em reservatórios do Alto Paraná e São Francisco (Alvim & Peret, 2004; Brandão, 2007). Outros indicam a plasticidade alimentar desta espécie em diferentes bacias, bem como sua ampla distribuição (Gomes & Verani, 2003).

Espécies sedentárias e que realizam cuidado parental são menos dependentes do regime hídrico sazonal para completar seu ciclo reprodutivo (Agostinho et al., 2004), logo,

podem colonizar ambientes regulados com maior sucesso. Os gêneros *Hoplias* e *Cichla*, registrados em todos os reservatórios estudados, são exemplos de grupos sedentários e de ampla distribuição.

Nos reservatórios amostrados, o amplo estabelecimento e a alta abundância de espécies introduzidas foi um padrão marcante. Tais introduções possivelmente ocorrem pela atividade de aquarioria, pesca esportiva e criação em tanques-rede, entre outras causas. A competição por recursos, predação, interferência na reprodução e transferência de parasitas são alguns dos efeitos causados por espécies introduzidas sobre as nativas (Petesse et al., 2007).

Os impactos negativos sobre a fauna local podem ser potencializados se as espécies introduzidas forem piscívoras ou carnívoras (Moyle & Cech, 1996). Tais populações podem crescer abruptamente nos locais onde se estabelecem, provocando sérios danos à ictiofauna local. No reservatório de Volta Grande foi registrada baixa abundância de espécies nativas, o que poderia estar relacionado à pressão de predação exercida por *P. squamosissimus*. Em alguns pontos deste reservatório, essa espécie alcançou mais de 90% das capturas. Espécies piscívoras, como *C. cf. piquiti* e *P. squamosissimus* possuem grande sucesso na colonização em vários reservatórios do sul e sudeste do Brasil (Agostinho et al., 2007).

Reservatórios são ambientes homogêneos, que apresentam assembleias instáveis e simplificadas (Oliveira & Goulart, 2000). Neste tipo de ambiente é comum a ocorrência de poucas espécies abundantes e muitas espécies com poucos indivíduos, sendo este um padrão registrado em assembleias biológicas, de um modo geral (Legendre & Legendre, 1998).

Tributários relativamente bem preservados, principalmente aqueles de maior porte, representam boa parte dos remanescentes lóticos em reservatórios e podem suprir os requerimentos ecológicos de certas espécies após o represamento (Pracheil et al., 2013). Também promovem *inputs* de nutrientes em reservatórios e aumentam a diversidade de habitats para as assembleias de peixes (Araújo & Santos, 2001). Sua influência na distribuição de espécies, abundância e riqueza foi verificada no presente estudo, o que pode indicar a importância desses ambientes para a preservação da ictiofauna.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proliferação de espécies sedentárias e generalistas em detrimento daquelas migradoras e nativas foi um padrão registrado nos quatro reservatórios estudados. Modificações na estrutura das comunidades de reservatórios são, de fato, esperadas, uma vez que o ambiente lótico original foi profundamente modificado pela interferência do barramento. Neste contexto, o estudo das comunidades de peixes é essencial para a compreensão das modificações que ocorrem nestes ambientes e para a preservação das espécies nativas.

A presença de tributários e a proximidade da zona riverina influenciam positivamente a riqueza e abundância de espécies nativas em reservatórios. Apesar da grande importância de tributários para a preservação das espécies remanescentes em reservatórios, a existência de grandes trechos lóticos, sem a interferência de barramentos, ainda é o cenário ideal para a conservação da ictiofauna nativa (Pracheil et al., 2013). Isto seria especialmente importante para os reservatórios que ainda possuem trechos livres significativos a montante (Nova Ponte, Três Marias e São Simão) ou uma ampla bacia de drenagem (Três Marias e São Simão).

6 – AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Cemig (Programa Peixe Vivo), pelo financiamento do projeto. Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG, pelas bolsas concedidas aos alunos de mestrado e de iniciação científica. Aos biólogos Thiago Pessali e Gilberto Salvador, à Codevasf (Três Marias e Morada Nova de Minas) e aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG e do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas, pelo auxílio imprescindível em várias etapas desse trabalho. Aos Profs. Carla S. Pavanelli e Cláudio H. Zawadzki do NUPÉLIA (UEM), ao Prof. Francisco Langeani da UNESP de São José do Rio Preto e ao Prof. José L. O. Birindelli (UEL), pelo valioso auxílio na identificação de uma parte dos peixes capturados nesse estudo.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. & PELICICE, F.M. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Maringá: Eduem. 2007.

AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; VERÍSSIMO, S. & OKADA, E.K. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v.14, n.1, p.11-19. 2004.

AGOSTINHO, A.A.; MIRANDA, L.E.; BINI, L.M.; GOMES, L.C.; THOMAZ, S.M. & SUZUKI, H.I. Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging. In: TUNDISI, J.G. & STRASKRABA, M. (Eds.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. Leiden: Backhuys Publishers, p. 227-265, 1999.

AGOSTINHO, A.A.; OKADA, E.K. & GREGORIS, J.A. A pesca no reservatório de Itaipu: aspectos socioeconômicos e impactos do represamento. In: HENRY, Raoul. *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu: Fundibio. Cap. 10, p. 283-318. 2007.

AGOSTINHO, A.A.; PELICICE, F.M. & GOMES, L.C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, n. 4, Suppl., p. 1119-1132. 2008.

AGOSTINHO, A.A.; VAZZOLER, A.E.A.M. & THOMAZ, S.M. 1995. The high River Paraná Basin: limnological and ichthyological aspects. In *Limnology in Brazil*, Tundisi JG, Bicudo CEM, Matsumura-Tundisi T. Rio de Janeiro: ABC/SBL; p. 59-103. 1995.

ALVES, C.B.M. & LEAL, C.G. Aspectos da conservação da fauna de peixes da bacia do rio São Francisco em Minas Gerais. *MG-Biota*, v. 2, p. 26-50, 2010.

ALVIM, M.C.C. & PERET, A.C. Food resources sustaining the fish fauna in a section of the upper São Francisco River in Três Marias, MG, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 64, n. 2, p. 195-202, 2004.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Brasília: Aneel, 2002. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 17 out 2013.

ARAÚJO, F.G. & SANTOS, L.N. Distribution of fish assemblages in Lajes reservoir, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 61, n. 4, p. 563-576, 2001.

BAILLY, D.; ANTÔNIO, R.R.; SUZUKI, H.I. & AGOSTINHO, A.A. Colonization of the Corumbá Reservoir (Corumbá River, Paraná River Basin, Goiás State, Brazil) by the “lambari” *Astyanax altiparanae* (Tetragonopterinae; Characidae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 48, n.3, p. 467-476. 2005.

BRANDÃO, H. *A ictiofauna da represa de Salto Grande (médio rio Paranapanema (SP/PR): Composição, estrutura e atributos ecológicos*. Dissertação de mestrado. UNESP, Botucatu, 2007.

BRITSKI H.A.; SATO Y. & ROSA A.B.S. Manual de identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco. In: *Manual de identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da Bacia do São Francisco*. Câmara dos Deputados/Codevasf, 1984.

CAPCOTT, J.E.; COLLIER, K.J.; DEATH, R.G.; GOODWIN, E.O.; HARDING, J.S.; KELLY, D.; LEATHWICK, J.R. & YOUNG, R.G. Quantifying relationships between land-use gradients and structural and functional indicators of stream ecological integrity. *Freshwater Biology*, v. 57, n.1, p.74-90. 2012.

CECÍLIO, E.B.; AGOSTINHO, A. A.; JULIO JR, H.F. & PAVANELLI, C.C. Colonização ictiofaunística do reservatório de Itaipu e áreas adjacentes. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 14, n.1, p. 1-14. 1997.

CEMIG. Programa Peixe Vivo - www.cemig.com.br/peixe vivo – Acesso em 10 de setembro de 2013.

DIAS, R.M.; BAILLY, D.; ANTÔNIO, R.R.; SUZUKI, H.I. & AGOSTINHO, A.A. Colonization of the Corumbá Reservoir (Corumbá River), Paraná River Basin (Goiás State, Brazil) by the “lambari” *Astyanax altiparanae* (Tetragonopterinae, Characidae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 48, n. 3, p. 467-476. 2005.

- GAO, X.; ZENG, Y.; WANG, J. & LIU, H. Immediate impacts of the second impoundment on fish communities in the Three Gorges Reservoir. *Environmental Biology of Fishes*, v. 87, p. 163–173. 2010.
- GIDO, K.B. & MATTHEWS, W.J. Dynamics of the Offshore Fish Assemblage in a Southwestern Reservoir (LakeTexoma,OklahomaTexas).*Copeia*, v. 2000, n. 4, p. 917-930. 2000.
- GODINHO, A. L & GODINHO, H. P. Breve visão do São Francisco. In: *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas, p. 15-23. 2003.
- GOMES, L.C & MIRANDA, L.E. Riverine characteristics dictate composition of fish assemblages and limit fisheries in reservoirs of the upper Paraná river basin. *Regulated Rivers: Research & Management*, v. 17, p. 67–76. 2001.
- GOMES, J.H.C. & VERANI, J.R. Alimentação de espécies de peixes do reservatório de Três Marias. In: GODINHO, H.P. & GODINHO, A.L. *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas, Cap. 12, p. 195-227. 2003.
- GRAÇA,W.J. & PAVANELLI, C.S. *Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes*. EDUEM: Maringá. 2007.
- LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. Numerical Ecology. Developments in environmental modelling, Elsevier Sci. Publ. Company. 1998.
- LINKE, S.; PRESSEY, R.L.; BAILEY, R.C. & NORRIS, R.H. Management options for river conservation planning: condition and conservation re-visited. *Freshwater Biology*, v. 52, n 5, p. 918-938. 2007.
- MERCADO-SILVA N.; HELMUS R.M. & ZANDEN, J.V.A.M. The effects of impoundment and non-native species on a river food web in Mexico's central plateau. *River Research and applications*, v. 25, p. 1090–1108. 2009.

- MOYLE, P.B. & CECH JR., J.J. *Fishes: an introduction to ichthyology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA. 1996.
- OLIVEIRA, E.F. & GOULART, E. Distribuição espacial de peixes em ambientes lênticos: interação de fatores. *Acta Scientiarum*, v 22, n 2, p. 445-453. 2000.
- OLIVEIRA, L.G.; TEJERINA-GARRO, F.L. & MÉRONA, B. Fish-habitat relationship in a tropical river under anthropogenic influences. *Hydrobiologia*, v. 598, p. 315–324. 2008.
- PETESSE, M.L.; PETRERE, M. & SPIGOLON, R.J. Adaptation of the reservoir fish assemblage index (RFAI) for assessing the Barra Bonita Reservoir (São Paulo, Brazil). *River Research and Applications*, v. 23, n. 6, p. 595-612. 2007.
- PRACHEIL, B. M.; MCINTYRE, P.B. & LYONS, J. D. Enhancing conservation of large-river biodiversity by accounting for tributaries. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 11, n. 3, p. 124-128. 2013.
- SUZUKI, F.M.; PIRES, L.V. & POMPEU, P.S. Passage of fish larvae and eggs through the Funil, Itutinga and Camargos Reservoirs on the upper Rio Grande (Minas Gerais, Brazil). *Neotropical Ichthyology*, v. 9, n. 3, p. 617-622. 2011.
- TERRA, B.D.F.; SANTOS, A.B. dos. & ARAÚJO, F.G. Fish assemblage in a dammed tropical river: an analysis along the longitudinal and temporal gradients from river to reservoir. *Neotropical Ichthyology*, v. 8, p. 599–606. 2010.
- VONO V. *Efeitos da implantação de duas barragens sobre a estrutura da comunidade de peixes do rio Araguari (bacia do Alto Paraná, MG)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2002.

ANEXO 1 – Espécies de peixes registradas nos reservatórios das UHEs Nova Ponte, São Simão, Volta Grande e Três Marias (abril de 2010 a maio de 2013), com seus respectivos locais de ocorrência.

| ORDEM / Família / Espécie | Autor | Nome Popular ¹ | Alto Rio Paraná | | | Rio São Francisco |
|---|--------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|--------------|-------------------|
| | | | Nova Ponte | São Simão | Volta Grande | Três Marias |
| CHARACIFORMES | | | | | | |
| Acestrorhynchidae | | | | | | |
| 1) <i>Acestrorhynchus britskii</i> | Menezes 1969 | Peixe-cachorro | | | | x |
| 2) <i>Acestrorhynchus lacustris</i> | (Lütken 1875) | Peixe-cachorro | | | x | x |
| Anostomidae | | | | | | |
| 3) <i>Leporellus vittatus</i> | (Valenciennes 1850) | Piau-rola / Solteira | x | | | x |
| 4) <i>Leporinus amblyrhynchus</i> | Garavello & Britski 1987 | Timburé | x | | | |
| 5) <i>Leporinus</i> cf. <i>macrocephalus</i> ^{2,3} | Garavello & Britski 1988 | Piaussu | | x | | |
| 6) <i>Leporinus friderici</i> ² | (Bloch 1794) | Piau-três-pintas | x | x | x | |
| 7) <i>Leporinus geminis</i> ^{2i, 3i} | Garavello & Santos 2009 | Piau | | x | | |
| 8) <i>Leporinus lacustris</i> | Campos 1945 | Corró | | | x | |
| 9) <i>Leporinus obtusidens</i> ² | (Valenciennes 1837) | Piau-verdadeiro / Piau | x | x | x | x |
| 10) <i>Leporinus octofasciatus</i> | Steindachner 1915 | Flamenguinho | x | | | |
| 11) <i>Leporinus piau</i> | Fowler 1941 | Piau-gordura | | | | x |
| 12) <i>Leporinus reinhardti</i> ² | Lütken 1875 | Piau-três-pintas | | | | x |
| 13) <i>Leporinus</i> sp. ^{2i, 3i} | - | Piau | | x | | |
| 14) <i>Leporinus tigrinus</i> | Borodin 1929 | Flamenguinho | | x | | |
| 15) <i>Schizodon borellii</i> | (Boulenger 1900) | Piau-bosteiro | | x | | |
| 16) <i>Schizodon knerii</i> | (Steindachner 1875) | Piau-branco | | | | x |
| 17) <i>Schizodon nasutus</i> | Kner 1858 | Timborê | x | x | x | |
| Bryconidae | | | | | | |
| 18) <i>Brycon orbignyanus</i> ² | (Valenciennes 1850) | Piracanjuba | | | x | |

| ORDEM / Família / Espécie | Autor | Nome Popular ¹ | Alto Rio Paraná | | | Rio São Francisco |
|--|------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|--------------|-------------------|
| | | | Nova Ponte | São Simão | Volta Grande | Três Marias |
| 19) <i>Salminus brasiliensis</i> ² | (Cuvier 1816) | Dourado | | x | | |
| 20) <i>Salminus hilarii</i> ² | Valenciennes 1850 | Tabarana | x | x | | x |
| Characidae | | | | | | |
| 21) <i>Astyanax altiparanae</i> | Garutti & Britski 2000 | Lambari-do-rabo-amarelo | x | x | x | |
| 22) <i>Astyanax cf. fasciatus</i> | (Cuvier 1819) | Labari-do-rabo-vermelho | x | x | x | x |
| 23) <i>Astyanax lacustris</i> | (Lütken 1875) | Lambari-do-rabo-amarelo | | | | x |
| 24) <i>Astyanax schubarti</i> | Britski 1964 | Lambari | x | | | |
| 25) <i>Galeocharax knerii</i> | (Steindachner 1879) | Dentudo | x | | x | |
| 26) <i>Moenkhausia costae</i> ³ | (Steindachner 1907) | Lambari | x | | | |
| 27) <i>Orthospinus franciscensis</i> | (Eigenmann 1914) | Lambari | | | | x |
| 28) <i>Roebooides descalsvadensis</i> ³ | Fowler 1932 | Dentudo | | x | | |
| 29) <i>Roebooides xenodon</i> | (Reinhardt 1851) | Lambari-cachorro | | | | x |
| 30) <i>Tetragonopterus chalcus</i> | Spix & Agassiz 1829 | Piaba-rapadura | | | | x |
| Curimatidae | | | | | | |
| 31) <i>Curimatella lepidura</i> | (Eigenmann & Eigenmann 1889) | Manjuba | | | | x |
| 32) <i>Cyphocharax modestus</i> | (Fernández-Yépez 1948) | Saguiru | x | | | |
| 33) <i>Cyphocharax nagelii</i> | (Steindachner 1881) | Saguiru | | x | | |
| 34) <i>Steindachnerina elegans</i> | (Steindachner 1875) | Saguiru | | | | x |
| 35) <i>Steindachnerina insculpta</i> | (Fernández-Yépez 1948) | Saguiru | x | x | x | |
| Cynodontidae | | | | | | |
| 36) <i>Rhaphiodon vulpinus</i> ² | Spix & Agassiz 1829 | Cachorra-facão | | x | | |

| ORDEM / Família / Espécie | Autor | Nome Popular ¹ | Alto Rio Paraná | | | Rio São Francisco |
|--|------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|--------------|-------------------|
| | | | Nova Ponte | São Simão | Volta Grande | Três Marias |
| Erythrinidae | | | | | | |
| 37) <i>Hoplias intermedius</i> | (Günther 1864) | Trairão | x | x | x | x |
| 38) <i>Hoplias</i> gr. <i>malabaricus</i> | (Bloch 1794) | Traíra | x | x | x | x |
| Iguanodectidae | | | | | | |
| 39) <i>Bryconops</i> sp. | - | Piaba | | | | x |
| Parodontidae | | | | | | |
| 40) <i>Parodon nasus</i> | Kner 1859 | Canivete | | x | | |
| Prochilodontidae | | | | | | |
| 41) <i>Prochilodus argenteus</i> ² | Spix & Agassiz 1829 | Curimatá-pacu / Zulega | | | | x |
| 42) <i>Prochilodus costatus</i> ² | Valenciennes 1850 | Curimatá-pioa | | | | x |
| 43) <i>Prochilodus lineatus</i> ² | (Valenciennes 1837) | Curimba | x | x | x | |
| Serrasalmidae | | | | | | |
| 44) <i>Metynnis</i> gr. <i>lippincottianus</i> ^{3?} | (Cope 1870) | Pacu-cd | x | x | x | |
| 45) “ <i>Myleus</i> ” <i>micans</i> ^{2?} | (Lütken 1875) | Pacu | | | | x |
| 46) <i>Piaractus mesopotamicus</i> ² | (Holmberg 1887) | Pacu-caranha | | x | | |
| 47) <i>Pygocentrus nattereri</i> ³ | Kner 1858 | Piranha | x | | | |
| 48) <i>Pygocentrus piraya</i> | (Cuvier 1819) | Piranha | | | | x |
| 49) <i>Serrasalmus brandtii</i> | Lütken 1875 | Pirambeba | | | | x |
| 50) <i>Serrasalmus maculatus</i> | Kner 1858 | Pirambeba | | x | x | |
| Triporthidae | | | | | | |
| 51) <i>Triporthus guentheri</i> | (Garman 1890) | Piaba-facão | | | | x |
| 52) <i>Triporthus nematurus</i> ³ | (Kner 1858) | Sardinha | | x | | |
| SILURIFORMES | | | | | | |
| Auchenipteridae | | | | | | |
| 53) “ <i>Trachelyopterus</i> ” <i>galeatus</i> | (Linnaeus 1766) | Cangati | x | | | x |
| Callichthyidae | | | | | | |
| 54) <i>Callichthys callichthys</i> | (Linnaeus 1758) | Tamboatá | | x | | |
| 55) <i>Hoplosternum littorale</i> | (Hancock 1828) | Tamboatá | | | x | x |
| Heptapteridae | | | | | | |

| ORDEM / Família / Espécie | Autor | Nome Popular ¹ | Alto Rio Paraná | | | Rio São Francisco |
|--|----------------------------------|--|-----------------|-----------|--------------|-------------------|
| | | | Nova Ponte | São Simão | Volta Grande | Três Marias |
| 56) <i>Pimelodella avanhandavae</i> | Eigenmann 1917 | Mandi-chorão | | x | | |
| 57) <i>Pimelodella gracilis</i> | (Valenciennes 1835) | Mandi-chorão | x | | | |
| 58) <i>Rhamdia</i> aff. <i>quelen</i> | (Quoy & Gaimard 1824) | Bagre | | x | | |
| Loricariidae | | | | | | |
| 59) <i>Hypostomus ancistroides</i> | (Ihering 1911) | Cascudo | | x | | |
| 60) <i>Hypostomus faveolus</i> | Zawadzki, Birindelli & Lima 2008 | Cascudo | | x | | |
| 61) <i>Hypostomus margaritifer</i> | (Regan 1908) | Cascudo | | x | | |
| 62) <i>Hypostomus</i> cf. <i>strigaticeps</i> | (Regan 1908) | Cascudo | | x | | |
| 63) <i>Hypostomus</i> sp.1 | - | Cascudo | | x | | |
| 64) <i>Hypostomus</i> sp.2 | - | Cascudo | x | | | |
| 65) <i>Hypostomus</i> sp.3 | - | Cascudo | | | x | |
| 66) <i>Megalancistrus parananus</i> | (Peters 1881) | Cascudo-abacaxi | | | x | |
| 67) <i>Proloricaria proluxa</i> | (Isbrücker & Nijssen 1978) | Cascudo-chinelo | | | x | |
| 68) <i>Pterygoplichthys joselimaianus</i> ³² | (Weber 1991) | Cascudo | | x | | |
| Pimelodidae | | | | | | |
| 69) <i>Hemisorubim platyrhynchos</i> ² | (Valenciennes 1840) | Jurupoca | | x | | |
| 70) <i>Iheringichthys labrosus</i> | (Lütken 1874) | Mandi-beiçudo | x | x | | |
| 71) <i>Leiarius marmoratus</i> vs <i>Pseudoplatystoma</i> sp. (híbrido) ³ | - | Pintado-amazônico / Cachandiá / Jundiara | | x | | |
| 72) <i>Pimelodus fur</i> | (Lütken 1874) | Mandi-branco | | | | x |
| 73) <i>Pimelodus</i> cf. <i>maculatus</i> ²² | Lacepède 1803 | Mandi-amarelo | x | x | x | x |
| 74) <i>Pimelodus pohli</i> | Ribeiro & Lucena 2006 | Mandi-branco | | | | x |
| 75) <i>Pinirampus pirinampu</i> ² | (Spix & Agassiz 1829) | Barbado | | x | | |

| ORDEM / Família / Espécie | Autor | Nome Popular ¹ | Alto Rio Paraná | | | Rio São Francisco |
|---|---------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|--------------|-------------------|
| | | | Nova Ponte | São Simão | Volta Grande | Três Marias |
| 76) <i>Pseudoplatystoma corruscans</i> ² | (Spix & Agassiz 1829) | Surubim / Pintado | | x | | x |
| PERCIFORMES | | | | | | |
| Cichlidae | | | | | | |
| 77) <i>Astronotus cf. crassipinnis</i> ³ | (Heckel 1840) | Apaiari | | | x | |
| 78) <i>Cichla cf. kelberi</i> ³ | Kullander & Ferreira 2006 | Tucunaré | | x | x | x |
| 79) <i>Cichla cf. piquiti</i> ³ | Kullander & Ferreira 2006 | Tucunaré | x | x | x | x |
| 80) <i>Cichlasoma paranaense</i> | Kullander 1983 | Cará | x | x | x | |
| 81) <i>Crenichthys britskii</i> | Kullander 1982 | Joaninha | | x | x | |
| 82) <i>Geophagus brasiliensis</i> | (Quoy & Gaimard 1824) | Cará | x | | | |
| 83) <i>Geophagus cf. proximus</i> ³ | (Castelnau 1855) | Cará | | x | | |
| 84) <i>Oreochromis niloticus</i> ³ | (Linnaeus 1758) | Tilápia | x | x | x | |
| 85) <i>Satanoperca cf. pappaterra</i> ³ | (Heckel 1840) | Cará | | x | x | |
| 86) <i>Tilapia rendalli</i> ³ | (Boulenger 1897) | Tilápia | x | x | x | |
| Sciaenidae | | | | | | |
| 87) <i>Pachyurus francisci</i> | (Cuvier 1830) | Corvina | | | | x |
| 88) <i>Pachyurus squamipennis</i> | Agassiz 1831 | Corvina | | | | x |
| 89) <i>Plagioscion squamosissimus</i> ³ | (Heckel 1840) | Corvina | | x | x | |
| GYMNOTIFORMES | | | | | | |
| Gymnotidae | | | | | | |
| 90) <i>Gymnotus aff. carapo</i> | Linnaeus 1758 | Sarapó | | | | x |
| Sternopygidae | | | | | | |
| 91) <i>Eigenmannia microstoma</i> | (Reinhardt 1852) | Tuvira | | | | x |
| 92) <i>Eigenmannia virescens</i> | (Valenciennes 1836) | Tuvira | | | x | |
| 93) <i>Sternopygus aff. macrurus</i> | (Bloch & Schneider 1801) | Tuvira | | x | | |
| Riqueza total | | | 29 | 48 | 30 | 36 |

- 1 – Segundo Britski et al. (1988) e Graça & Pavanelli (2007).
- 2 – Espécie considerada migradora, de acordo com Agostinho et al. (2003), Graça & Pavanelli (2007) e Alves & Pompeu (2010).
- 3 – Espécie considerada exótica às bacias do alto rio Paraná e/ou rio São Francisco, segundo Graça & Pavanelli (2007), Alves & Leal (2010) e Santos (2010).

Designações: “aff.” - (*affinis*) / “cf.” - (*confers*) / “sp.” - (espécie mantida a nível genérico, em função de seus caracteres morfológicos não se encaixarem nas diagnoses existentes na literatura) / “gr.” - (do grupo).

CHARACIFORMES

Acestrorhynchidae



Acestrorhynchus britskii



Acestrorhynchus lacustris

Anostomidae



Leporellus vittatus



Leporinus amblyrhynchus



Leporinus friderici



Leporinus geminis



Leporinus obtusidens



Leporinus octofasciatus



Leporinus piau



Leporinus reinhardti



Leporinus tigrinus



Leporinus sp.



Schizodon knerii



Schizodon nasutus

Bryconidae



Brycon orbignyanae



Salminus brasiliensis



Salminus hilarii

Characidae



Astyanax altiparanae



Astyanax cf. fasciatus



Astyanax lacustris



Galeocharax knerii



Moenkhausia costae



Orthospinus franciscensis



Roeboides xenodon



Tetragonopterus chalceus

Curimatidae



Cyphocharax modestus

Cynodontidae



Raphiodon vulpinus

Iguanodectidae



Bryconops sp.

Erythrinidae



Hoplias intermedius



Hoplias gr. malabaricus

Prochilodontidae



Prochilodus argenteus



Prochilodus costatus



Prochilodus lineatus

Serrasalminidae



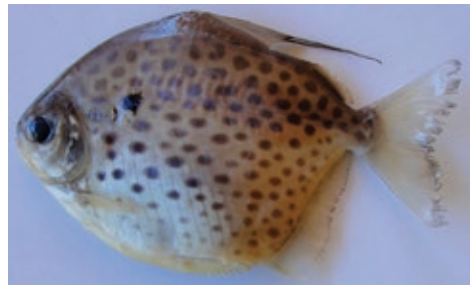
Piaractus mesopotamicus



Pygocentrus nattereri



Pygocentrus piraya



Metynnis gr. lippincottianus



"Myleus" micans



Serrasalmus brandtii



Serrasalmus maculatus

Triporthidae



Triporthes guentheri



Triporthes nematurus

SILURIFORMES

Auchenipteridae



"Trachelyopterus" galeatus

Callichthyidae



Hoplosternum littorale

Pimelodidae



Hemisorubim platyrhynchos



Pimelodus fur



Pimelodus cf. maculatus



Pinarampus pirinampu



Pseudoplatystoma corruscans



Leiaris marmoratus vs *Pseudoplatystoma* sp.
(hibrido)

Loricariidae



Hypostomus ancistroides



Megalancistrus parananus



Pterygoplichthys joselimaianus

PERCIFORMES

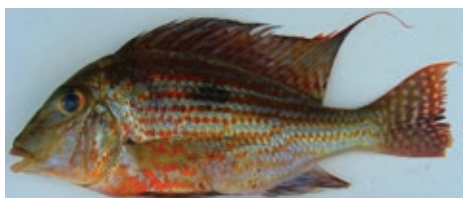
Cichlidae



Cichla cf. kelberi



Cichla cf. piquiti



Geophagus cf. proximus



Oreochromis niloticus



Satanoperca cf. pappaterra



Tilapia rendalli

Sciaenidae



Pachyurus francisci



Pachyurus squamipennis



Plagioscion squamosissimus

GYMNOTIFORMES

Sternopygidae



Eigenmannia microstoma



Sternopygus aff. macrurus

Autoria das fotos: Bárbara Becker, Bárbara de Oliveira Sanches, Gilberto Nepomuceno Salvador, Lorena Cristina dos Santos e Tiago Casarim Pessali.

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 9 CONCLUSÕES

MARCOS CALLISTO, PAULO S. POMPEU,
GILMAR B. SANTOS, RAPHAEL LIGEIRO,
WANDER FERREIRA, DIEGO CASTRO,
LETÍCIA DE MORAIS, CECÍLIA GONTIJO LEAL,
HERSÍLIA SANTOS, CARLOS BERNARDO M. ALVES,
DIEGO MACEDO, RAFAELA FARIAS,
KELE R. FIRMIANO, ISABELA MARTINS,
BÁRBARA SANCHES & BÁRBARA BECKER

CALLISTO, M.; POMPEU, P.S.; SANTOS, G.B.; LIGEIRO, R.; FERREIRA, W.; CASTRO, D.; MORAIS, L.; LEAL, C.G.; SANTOS, H.S.; ALVES, C.B.M.; MACEDO, D.; FARIAS, R.; FIRMIANO, K. R.; MARTINS, I.; SANCHES, B. & BECKER, B. Conclusões. 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, v. 1, p. 215-234, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta uma síntese das principais conclusões dos capítulos deste livro. Procuramos apresentar as informações de uma forma simples, direta e objetiva, retratando os principais resultados para que gerentes, gestores ambientais e técnicos que trabalham na Cemig ou nas áreas dos empreendimentos estudados no Projeto IBI possam utilizar na tomada de decisões. Acreditamos que as informações aqui apresentadas possam também interessar outros usuários e membros de comitês de bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos.

Incluímos informações sobre: (i) *a biodiversidade inventariada em riachos e reservatórios nas quatro bacias*; (ii) *diagnóstico de qualidade ambiental (p.ex. Índice Fragilidade Ambiental)*; (iii) *regiões com melhores e piores cenários em termos de sítios de referência, sítios severamente antropizados, sítios com maior riqueza biológica, sítios com menor riqueza biológica, eficiência amostral, principais métricas de habitats físicos que melhor explicam a riqueza de bentos e peixes e principais métricas para estudo de transporte de sedimentos*. As metodologias utilizadas foram apresentadas no capítulo 3.

2 – ICTIOFAUNA EM RIACHOS

No total foram coletados 19.339 indivíduos representando sete ordens, 23 famílias e 144 espécies de peixes nos 155 riachos amostrados (Tabela 1). Desses, 5.910 indivíduos e 58 espécies foram registradas na bacia do rio São Francisco, região de Três Marias (TM). Na bacia do Alto Paraná, em Nova Ponte (NP) a ictiofauna foi composta por 38 espécies (4.330 exemplares), em Volta Grande (VG) por 44 espécies (3.472 indivíduos) e em São Simão (SS), 64 espécies (5.627 indivíduos). Esse total representa de 14% a 21% da riqueza regional até então conhecida para cada bacia onde as regiões amostradas se situam. Uma parcela menor (6% a 15%) representa as espécies exclusivas das amostragens deste projeto, ou seja, novos registros às bacias. Tal resultado indica que mesmo em bacias bem estudadas como as do São Francisco e do Alto Paraná, as amostragens em riachos têm muito a contribuir com o conhecimento regional da biodiversidade aquática. Por último, grande parte da riqueza regional de cada bacia não foi registrada no presente estudo, uma vez que corresponde a espécies de maior porte e que não ocorrem naturalmente em riachos de até 3ª ordem.

A maioria das espécies registradas é nativa das bacias em estudo. As três exceções foram o barrigudinho *Poecilia reticulata*, coletado em todas as regiões, e as tilápias *Tilapia rendalli* e *Oreochromis niloticus* registradas em Volta Grande e São Simão, respectivamente. No Alto Paraná foram capturadas oito espécies novas: *Astyanax* sp.n. (gr. *scabripinnis*), *Astyanax* sp.n. 2 (gr. *scabripinnis*), *Characidium* sp.n., *Characidium* sp.n. (gr. *fasciatum*), *Rhamdiopsis* sp.n., *Trichomycterus* sp.n. 1, *Trichomycterus* sp.n. 2 e *Trichomycterus* sp.n. 3. Para a bacia do São Francisco, região de Três Marias, especialistas consultados confirmaram duas espécies novas: *Hisonotus* sp.1, *Hisonotus* sp.2. Além destas, pelo menos outras dez espécies (dos gêneros *Astyanax*, *Characidium*, *Harttia*, *Hisonotus*, *Hypostomus*, *Neoplecostomus*, *Rineloricaria*, *Serrapinnus*, e dois gêneros das subfamílias Hypoptopomatinae e Glandulocaudinae) das bacias do Alto Paraná e São Francisco continuam em avaliação, sendo no momento consideradas potencialmente novas.

Nas quatro regiões as 10 espécies mais abundantes foram responsáveis por pelo menos 75% do total de exemplares coletados. Dentre elas destacam-se *Characidium zebra* e o complexo de espécies *Astyanax scabripinnis*, que foram as mais abundantes nas quatro bacias.

Espécies migradoras, de interesse comercial ou ameaçadas de extinção, podem ser consideradas raras ou acidentais nas regiões estudadas, tendo ocorrido em baixa abundância e em poucos riachos. Em Três Marias, por exemplo, a pirapetinga *Brycon nattereri* (espécie ameaçada) e a tabarana *Salminus hilarii*; e em São Simão, a piraicanjuba *Brycon orbignyanus* e os piaus *Leporinus friderici*, *Leporinus lacustris*, *Leporinus piavussu*, *Leporinus octofasciatus*, *Leporinus paranensis* e *Leporinus striatus* foram registradas através de um único indivíduo jovem cada.

Quanto à similaridade entre riachos e regiões, os resultados indicam que embora em paisagens antropizadas, ainda é possível encontrar cursos d'água com uma ampla gama de habitats e englobando uma rica ictiofauna de riachos. A diversidade beta entre riachos foi responsável por grande parte da diversidade total (gama) tanto na bacia do alto Paraná (39,7%) quanto no São Francisco (88,3%). Tal resultado indica que diferentes riachos possuem componentes únicos, que agrupados tornam-se de extrema importância à diversidade regional, e consequentemente ao planejamento da conservação em ampla escala.

TABELA 1 – Informações biológicas da ictiofauna em riachos de cabeceira nas bacias de Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS).

| Informações | NP | TM | VG | SS |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Número total de indivíduos | 4.330 | 5.910 | 3.472 | 5.627 |
| Número médio de indivíduos/riacho | 113 | 151 | 89 | 144 |
| Número de ordens | 6 | 5 | 6 | 6 |
| Número de famílias | 15 | 15 | 14 | 19 |
| Número de espécies | 38 | 58 | 44 | 64 |
| Número médio de espécies/riacho | 6 | 6 | 6 | 10 |
| Número de espécies de grande porte e interesse comercial | 3 | 4 | 4 | 8 |
| Número de espécies migratórias | 0 | 2 | 1 | 3 |
| Número de espécies ameaçadas de extinção (vulneráveis) | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Número de espécies exóticas | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Número de espécies novas para a ciência* | 3 | 2 | 3 | 1 |
| Número de espécies potencialmente novas para a ciência** | 11 | 12 | 13 | 7 |
| Porcentagem de espécies comuns à riqueza regional | 15% | 20% | 14% | 21% |
| Número de espécies mais abundantes (10/75%) | 5 | 5 | 5 | 9 |

* confirmadas por especialistas

** espécies mantidas como sp., cf., aff., e ainda em fase de avaliação por especialistas

3 – SEDIMENTOLOGIA

A Tabela 2 apresenta as principais características físicas e de uso/ocupação do solo das regiões estudadas. Destacam-se a alta declividade das regiões de Nova Ponte e Três Marias, o predomínio da atividade de agricultura em Volta Grande, a diversidade de solos na região de Três Marias e as maiores altitudes na bacia de São Simão.

O presente estudo verificou que as métricas de estabilidade do leito: porcentagem de finos, diâmetros crítico e geométrico médio dos sedimentos foram as mais significativas para o estudo de transporte de sedimentos, uma vez que apontaram diferenças entre os sítios estudados.

Com relação ao uso e ocupação do solo e vegetação ripária, as métricas calculadas foram capazes de explicar os processos de agradação (deposição) e degradação (erosão) de cada trecho de rio. Verificou-se também que quanto maior o impacto antrópico, menor era o índice de cobertura ripária em geral.

Entre os sítios estudados, percebeu-se que do ponto de vista de transporte de sedimentos, Volta Grande apresentou melhores resultados uma vez que o índice LRBS foi próximo de zero. Isso significa que os sedimentos encontrados nas coletas apresentaram tamanho médio próximo ao sedimento esperado teoricamente, para rios com as características verificadas.

Alguns trechos amostrados nas bacias de Nova Ponte, Três Marias e São Simão apresentaram os piores índices de estabilidade de leito (LRBS), sofrendo processos de agradação.

TABELA 2 – Características sedimentológicas nas bacias hidrográficas dos empreendimentos estudados.

| Empreendimentos | Solo | Declividade | Altitude (m) | Precipitação Anual | Uso do Solo |
|-----------------|---|--|--------------|---------------------|---|
| Nova Ponte | - Cambissolo háplico - Argissolo vermelho-amarelo - Latossolo vermelho-amarelo | - Áreas com I entre 0 e 12% - Áreas com I > 12% | 50 - 335 | Maior 1.500 | - Agricultura - Agropecuária - Reservas |
| Três Marias | - Neossolo litólico - Argissolo vermelho-amarelo - Latossolo Vermelho - Cambissolo háplico | - Áreas com I entre 0 e 12% - Áreas com I > 12% | 520-989 | Entre 1.200 e 1.500 | - Agricultura - Agropecuária - Reservas |
| Volta Grande | - Latossolo vermelho | - Áreas com I entre 0 e 12% | 50-821 | Entre 1.200 e 1.500 | - Agricultura |
| São Simão | - Latossolo vermelho - Argissolo vermelho-amarelo | - Áreas com I entre 0 e 12% | 821 - 1.258 | Entre 1.200 e 1.500 | - Agricultura e Agropecuária |

4 – MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM RIACHOS DE CABECEIRA

Os riachos das quatro bacias hidrográficas estudadas em geral apresentaram altas abundâncias e riquezas taxonômicas de macroinvertebrados bentônicos, com considerável va-

riação na composição taxonômica entre as bacias. Diptera, Coleoptera e Ephemeroptera foram as ordens de insetos aquáticos predominantes. Os riachos da bacia hidrográfica de Três Marias foram os que apresentaram maior riqueza taxonômica total, e os riachos da bacia de Nova Ponte foram os únicos onde não foram registrados moluscos invasores (Tabela 3). O esforço amostral de 40 riachos por bacia foi razoavelmente suficiente para o levantamento da diversidade de famílias de macroinvertebrados nas regiões estudadas. Métricas relacionadas à morfologia do canal e às características de fluxo superficial e de substratos do leito foram preponderantes em explicar a riqueza e a composição de insetos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT). Os gêneros de Ephemeroptera foram particularmente sensíveis a alterações antrópicas atuando em escala regional, como atividades de agricultura e pastagem nas áreas de drenagem dos riachos de Nova Ponte. Larvas de *Phylloicus*, um gênero de Trichoptera tradicionalmente considerado como um fragmentador típico, apresentaram elevadas quantidades de material orgânico particulado fino (MOPF) em seus conteúdos estomacais. Características dos habitats físicos dos riachos, principalmente as relacionadas à estrutura da vegetação ripária, tiveram grande influência nas dietas desses organismos.

TABELA 3 – Biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos de cabeceira nas bacias hidrográficas dos reservatórios de Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS).

| Informações | NP | TM | VG | SS |
|--|--------|------------------------------|---|------------------------------|
| Número de indivíduos | 23.356 | 72.973 | 76.582 | 56.410 |
| Número de ordens | 17 | 17 | 18 | 19 |
| Número de famílias | 70 | 80 | 71 | 71 |
| Percentual de EPT | 26,8% | 22,1% | 18,4% | 24,8% |
| Percentual de Chironomidae + Oligochaeta | 42,8% | 47,4% | 58,4% | 56,3% |
| Presença de Moluscos invasores | Não | Sim <i>Melanoïdes</i> sp. | Sim <i>Corbicula fluminea</i> <i>Melanoïdes</i> sp. | Sim <i>Melanoïdes</i> sp. |
| Número médio de famílias / riacho | 24,2 | 26,5 | 24,4 | 24,7 |

Tabela 3 – Continuação

| Informações | NP | TM | VG | SS |
|--|---|---|--|---|
| Métricas de habitat físico que mais influenciam riqueza de EPT | Largura média do leito sazonal; Porcentagem de seixos; Proporção de abrigos e pedaços de madeira pequenos; declividade % agricultura % pastagens | Porcentagem de fluxos lentos + poças; Estabilidade relativa do leito (diâmetro crítico do substrato); Largura média de área molhada; Oxigênio dissolvido | Fluxo suave+cascalho/ seixo Fluxo suave+folhicho | |
| Número de famílias de EPT | 19 | 20 | 17 | 16 |
| Número de gêneros de EPT | 62 | 65 | 63 | 56 |
| Número de indivíduos de EPT | 6.264 | 16.162 | 14.070 | 14.013 |
| Famílias de EPT predominantes | Ephemeroptera: Leptophlebiidae; Plecoptera: Gripopterygidae; Trichoptera: Hydropsychidae | Ephemeroptera: Baetidae; Plecoptera: Perlidae; Trichoptera: Philopotamidae | Ephemeroptera: Baetidae Plecoptera: Perlidae Trichoptera: Hydropsychidae | Ephemeroptera: Baetidae Plecoptera: Perlidae Trichoptera: Hydropsychidae |
| Gêneros de EPT dominantes | Ephemeroptera: <i>Traverhyphes</i> <i>Americabaetis</i> <i>Cloeodes</i> <i>Caenis</i> <i>Tricorythopsis</i> <i>Thraulodes</i> ; Plecoptera: <i>Anacroneuria</i> ; Trichoptera: <i>Smicridea</i> | Ephemeroptera: <i>Traverhyphes</i> ; <i>Americabaetis</i> <i>Callibaetis</i> <i>Cloeodes</i> <i>Farrodes</i> <i>Thraulodes</i> ; Plecoptera: <i>Anacroneuria</i> ; Trichoptera: <i>Chimarra</i> | Ephemeroptera: <i>Americabaetis</i> <i>Baetodes</i> <i>Farrodes</i> <i>Thraulodes</i> <i>Leptohyphes</i> <i>Traverhyphes</i> <i>Zelus</i> ; Plecoptera: <i>Anacroneuria</i> ; Trichoptera: <i>Smicridea</i> | Ephemeroptera: <i>Americabaetis</i> , <i>Farrodes</i> , <i>Traverhyphes</i> , <i>Thraulodes</i> Plecoptera: <i>Anacroneuria</i> ; Trichoptera: <i>Smicridea</i> |

4.1 Habitats físicos que melhor explicam a riqueza de EPT e conteúdo alimentar de *Phylloicus* nas bacias do alto Araguari e alto São Francisco

O estudo dos riachos nas bacias dos reservatórios de Nova Ponte (NP) e Três Marias (TM) evidenciou maior riqueza taxonômica de macroinvertebrados bentônicos em TM. Isso pode estar relacionado às melhores condições ecológicas de habitats físicos (Ligeiro et al., 2013). Foi possível observar que as métricas de habitats físicos relacionadas ao fluxo (p.ex. porcentagens de fluxos suaves e lentos, poças) e sedimento (p.ex. diâmetro crítico, estabilidade do sedimento) foram as métricas que mais contribuíram para explicar a riqueza de EPT nos riachos da bacia de TM, seguidas das métricas de morfologia (largura média) e teores de oxigênio dissolvido.

Na bacia de NP as métricas relacionadas à morfologia (p.ex. largura média do leito sazonal) e substrato (p.ex. % seixos) foram as que mais contribuíram para explicar a riqueza de EPT, seguidas de métricas relacionadas a abrigo (p.ex. abrigos fluviais e pedaços de madeira pequenos) e morfologia (p.ex. declividade). Nota-se que em ambas as bacias avaliadas as métricas de composição de substrato foram importantes para explicar a riqueza taxonômica de macroinvertebrados bentônicos.

Em relação ao conteúdo alimentar de larvas de *Phylloicus*, considerado um fragmentador típico que se alimenta de detritos foliares oriundos da mata ripária, pudemos observar que a estrutura de habitats físicos e o estado de integridade ecológica de cada bacia influenciaram a composição dos itens alimentares no trato digestivo dos organismos. As larvas de *Phylloicus* na bacia de NP consumiram maior quantidade de matéria orgânica particulada fina (MOPF), enquanto que na bacia de TM os *Phylloicus* consumiram consideráveis quantidades de matéria orgânica particulada grossa (MOPG).

Em síntese, o estudo mostrou a importância dos fatores de habitats físicos em escala local na estruturação e distribuição de assembleias de EPT e na composição de itens alimentares no trato digestivo de larvas de *Phylloicus* em córregos no Cerrado (Ferreira et al., 2014).

4.2 Condição ecológica dos riachos estudados

Os níveis de distúrbios causados por atividades humanas nos riachos possuem íntimas relações com a integridade de seus habitats e com a integridade de suas assembleias biológicas (Callisto et al., 2001). Práticas eficientes de conservação e manejo de bacias hidrográficas dependem do conhecimento acerca das condições ecológicas dos riachos que formam as bacias, identificando as áreas mais vulneráveis e as principais fontes de perturbações,

auxiliando portanto na tomada de decisão (Callisto et al., 2012). Por meio do Plano de Distúrbio e do Índice de Distúrbio Integrado (IDI) (Ligeiro et al., 2013), descritos no Capítulo 6, foi possível caracterizar quantos e quais riachos estão em melhores e piores condições nas bacias estudadas. A Figura 1 ilustra os níveis de perturbações dos riachos em escalas local e regional. As elipses de diferentes cores representam as três categorias de distúrbios definidas a partir dos valores de IDI ($IDI < 0,2$ - boas condições ecológicas; $0,2 \leq IDI \leq 0,6$ - condições intermediárias; $IDI > 0,6$ - condições alteradas). Foi possível visualizar que os riachos de NP em geral apresentaram maiores níveis de distúrbio regional do que os riachos de TM, que possui um maior número de riachos em boas condições ecológicas.

Riachos menos perturbados e em boas condições ecológicas são geralmente encontrados dentro de unidades de conservação (por exemplo, a Unidade Ambiental Galheiro – Cemig, na bacia de Nova Ponte) ou em regiões pouco habitadas e pouco utilizadas por atividades agrossilvipastoris (p.ex. em regiões montanhosas). Por outro lado, os riachos alterados são normalmente encontrados próximos a cidades ou de grandes empreendimentos agrícolas. Nestas situações os riachos podem apresentar canal e entorno bastante perturbados, com leito assoreado, vegetação ripária ausente, podendo receber efluentes domésticos e/ou industriais (por exemplo, o riacho que passa dentro da cidade de Araxá, na bacia de Nova Ponte – Figura 2). Em cada bacia é possível visualizar a localização dos riachos mais e menos perturbados por atividades antrópicas (Figura 3). Por meio de diagnósticos ambientais como esse espera-se auxiliar os tomadores de decisão a melhor direcionarem os recursos para a recuperação das áreas degradadas e para a proteção de áreas-chave para a manutenção da biodiversidade aquática.

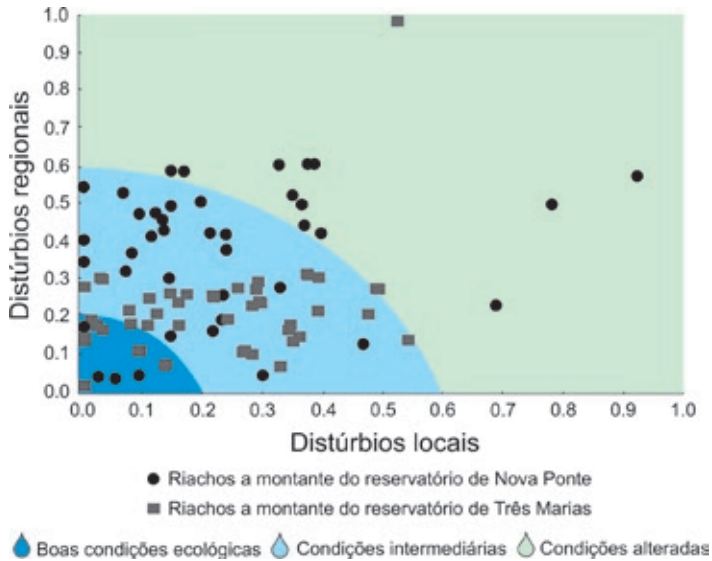


FIGURA 1 – Plano de distúrbio representando o nível de perturbação dos riachos em escala local e regional. Quanto mais distantes da origem do plano (valor zero nos dois eixos) mais perturbados estão os riachos. Os pontos localizados na elipse azul escuro representam os riachos em boas condições ecológicas. Os pontos localizados na elipse azul claro representam riachos em condições intermediárias, e aqueles localizados na parte azul mais clara do plano representam os riachos alterados.



FIGURA 2 – Exemplo de um riacho em más condições ecológicas (bacia de Nova Ponte).

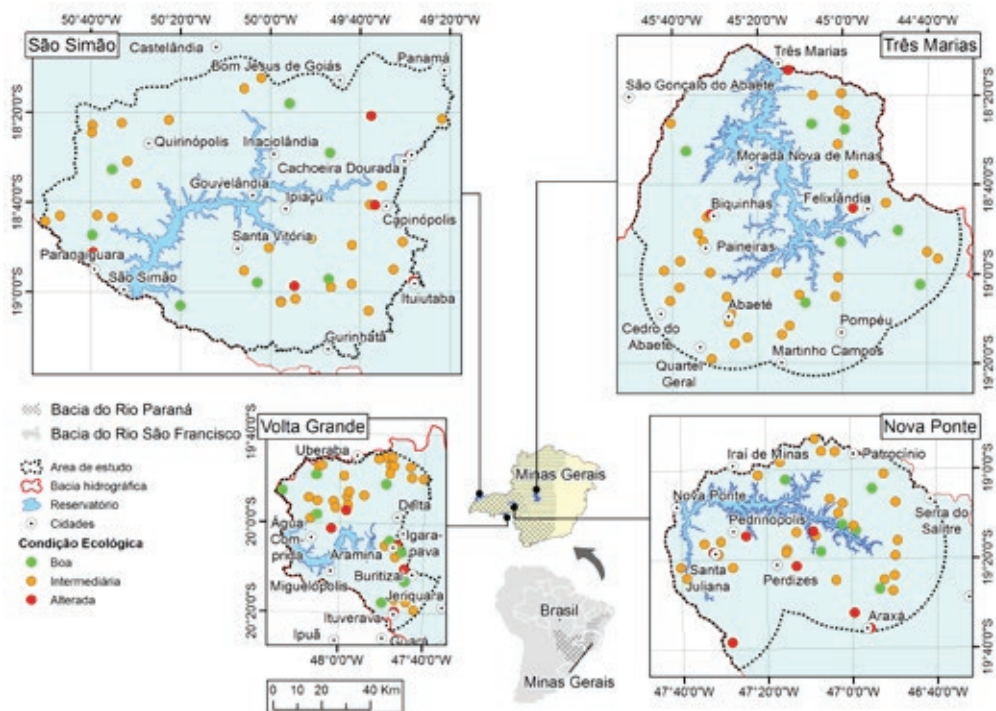


FIGURA 3 – Localização dos riachos e nível de condição ecológica em cada bacia amostrada no projeto IBI-Cemig entre 2009 e 2012. São Simão, Três Marias, Volta Grande e Nova Ponte.

4.3 Vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas

Estudos sintéticos que produzam informações sobre a quantificação de propriedades ambientais, como susceptibilidade, fragilidade, status de conservação, potencial para exploração e necessidade para recuperação e restauração são essenciais aos tomadores de decisão para executar medidas de gerenciamento e conservação de recursos naturais (Villa & McLeod, 2002). Mais além, é necessário o desenvolvimento de uma abordagem analítica que integre as interações entre os aspectos sociais e geo-biofísicos para embasar esses estudos (Angelstam et al., 2013).

A elaboração do estudo de fragilidade ambiental das bacias dos empreendimentos hidrelétricos de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão foi baseada na sobreposição entre vulnerabilidades potenciais intrínsecas das regiões de estudo, nos elementos da paisagem natural (altimetria, declividade, geologia, solos, pluviosidade, áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade) e pressões antrópicas (porcentagem de cobertura natural, áreas urbanas ou pastagens, densidade populacional, pressão sobre os recursos hídricos, distância de rodovias e distância de centros urbanos). O diagnóstico foi realizado através da análise espacial destes elementos utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Ao analisar a fragilidade ambiental de uma área, deve-se considerar que fatores distintos possuem importância diferenciada na quantificação de um fenômeno (Malczewski, 2006). Neste estudo foi utilizado o método de Processo Analítico Hierárquico (AHP) (Saaty, 1977), amplamente utilizado em análises ambientais multicriterial (p.ex. Ramanathan, 2001; Tian et al., 2013; Wang et al., 2008). Este método analítico consiste em comparar os fatores aos pares, de modo que cada relação recebe um peso, o que permite organizar cada variável segundo uma hierarquia. Os fatores foram organizados em uma matriz e aferida a importância relativa de cada fator em relação aos demais. Quando um fator (A) foi mais importante que um fator (B), recebeu uma nota x , e da mesma maneira, o fator (B) recebeu uma nota recíproca $1/x$ (Tabela 4). O peso final é soma da importância relativa de cada fator, e a soma destes pesos possui o valor 1 (Tabela 5). A partir destes pesos, foi calculado um Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) para cada bacia de reservatório.

TABELA 4 – Grau de importância das relações entre os fatores, do Processo Analítico Hierárquico, para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental.

| Grau de importância | Definição |
|--|---|
| 1 | Igual importância entre dois fatores |
| 3 | Fraca importância de um fator em relação ao outro |
| 5 | Forte importância de um fator em relação ao outro |
| 7 | Muito forte importância de um fator em relação ao outro |
| 9 | Absoluta importância de um fator em relação ao outro |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários entre duas apreciações |
| 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9 | Valores recíprocos de uma apreciação prévia |

TABELA 5 – Pesos relativos dos fatores, do Processo Analítico Hierárquico, para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental.

| Fatores | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | Pesos |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| (1) Diferença de altitude (m) | - | 2 | 4 | 2 | 1/2 | 4 | 6 | 2 | 0,1852 |
| (2) Declividade (%) | 1/2 | - | 2 | 2 | 1/3 | 2 | 5 | 2 | 0,1240 |
| (3) Pluviosidade anual (mm ³) | 1/4 | 1/2 | - | 1/5 | 1/6 | 3 | 3 | 1/2 | 0,0603 |
| (4) Geologia (Tipo/fragilidade) | 1/2 | 1/2 | 5 | - | 1/4 | 6 | 7 | 5 | 0,1683 |
| (5) Cobertura natural (%) | 2 | 3 | 6 | 4 | - | 6 | 8 | 6 | 0,3253 |
| (6) Densidade de domicílios (dom/km ²) | 1/4 | 1/2 | 1/3 | 1/6 | 1/6 | - | 1 | 1 | 0,0417 |
| (7) Proximidade de rodovias (km) | 1/6 | 1/5 | 1/3 | 1/7 | 1/8 | 1 | - | 1/3 | 0,0280 |
| (8) Proximidade de centros urbanos (km) | 1/2 | 1/2 | 2 | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | - | 0,0672 |

O produto final foi a proposição de mapas-síntese, apresentando as áreas com maior ou menor fragilidade ambiental, os quais poderão subsidiar a implementação de medidas de gestão integrada das bacias hidrográficas e para conservação da biodiversidade na região, incluindo programas de restauração ambiental (Figura 4).

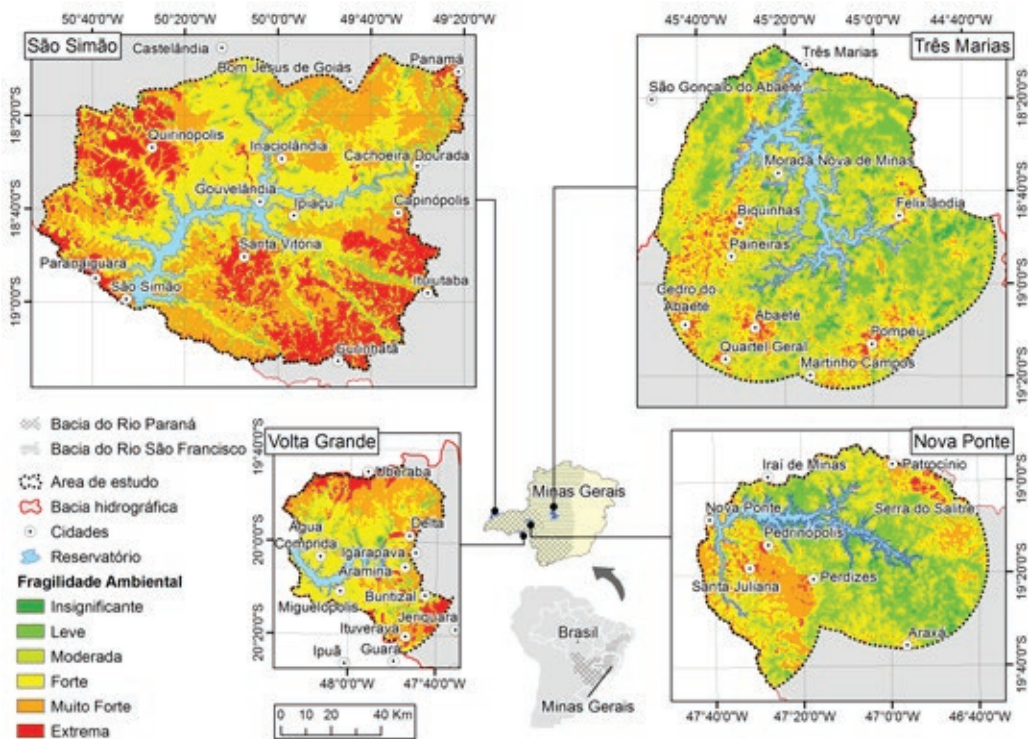


FIGURA 4 – Distribuição espacial do IVA nas bacias de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão.

Esta metodologia permite criar subsídios para que tomadores de decisão possam equacionar melhor a disponibilização de recursos financeiros e humanos para ações específicas de manejo, preservação ou conservação de recursos naturais e, conseqüentemente, conservando a disponibilidade dos serviços ecossistêmicos. Através desta abordagem analítica, pode-se identificar como a sobreposição de fatores relacionados à paisagem natural e às pressões antrópicas impactam as bacias hidrográficas e, conseqüentemente, a área a montante dos reservatórios. Como os aspectos da paisagem natural não podem ser controlados pela ação humana, pode-se identificar as áreas nas quais ações de recuperação e conservação serão mais eficazes, permitindo uma melhor equalização de recursos financeiros, tendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, e não as divisões administrativas (municípios, por exemplo).

5 – COMUNIDADES BENTÔNICAS EM RESERVATÓRIOS

A avaliação de qualidade ambiental dos reservatórios estudados foi importante para indicar características do habitat e das comunidades bentônicas em cada empreendimento. A partir dessa abordagem foi possível levantar sítios amostrais em melhores condições e, outros, em piores condições e avaliar a composição e estrutura da macrofauna bentônica, com enfoque na sensibilidade diferenciada entre os organismos (bioindicadores) e na presença de espécies exóticas (Tabela 6).

TABELA 6 – Biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos nos reservatórios de Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS), Minas Gerais.

| Informações | NP | TM | VG | SS |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Número de indivíduos | 1.116 | 976 | 3.737 | 3.725 |
| Número de ordens | 12 | 13 | 12 | 7 |
| Número de famílias | 18 | 23 | 17 | 14 |
| Número de gêneros de Chironomidae | 21 | 24 | 23 | 26 |
| Percentual de Chironomidae + Oligochaeta | 80 | 74,18 | 17,7 | 96 |
| Percentual de Moluscos (espécies nativas) | 0,01 | 3,8 | 0,1 | 0,04 |
| Percentual de Moluscos (espécies exóticas) | 0,16 | 1,2 | 80,7 | 0,01 |
| Número de espécies exóticas | 3 | 3 | 4 | 1 |
| Percentual de abundância de espécies exóticas | 10,5 | 1,3 | 80,8 | 0,01 |
| Percentual de cobertura vegetal natural | 67,7 | 57 | 10 | 10,4 |
| Percentual de alto distúrbio em macro escala | 17,5 | 32 | 45 | 30 |
| Percentual de alto distúrbio em meso escala | 17,5 | 15 | 58 | 17,5 |
| Percentual de distribuição de táxons sensíveis | 20 | 70 | 30 | 70 |
| Percentual de distribuição de táxons tolerantes | 50 | 62,5 | 90 | 57,5 |
| Percentual de distribuição de táxons resistentes | 100 | 97,5 | 97,5 | 100 |

A partir dessa avaliação foi observado que o entorno dos reservatórios estudados foi composto por sítios amostrais em alto distúrbio em escalas macro e meso. Somente o entorno dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias foi constituído em maior proporção por cobertura vegetal natural (áreas não cultivadas).

Nos reservatórios de Nova Ponte, Três Marias e São Simão predominaram táxons resistentes, enquanto que no reservatório de Volta Grande as espécies exóticas, também resistentes e oportunistas, dominam as comunidades bentônicas. Os organismos resistentes

a mudanças antrópicas foram encontrados em praticamente todos os sítios amostrais nos quatro empreendimentos hidrelétricos. Isso ocorreu devido principalmente à presença e ampla distribuição de indivíduos da família Chironomidae em todos os reservatórios. A família Chironomidae é composta por organismos que ocupam diversos habitats devido à sua capacidade de exploração de diversos recursos alimentares. Além disso, esses organismos são encontrados frequentemente em regiões com sedimentos finos, característica comum nos reservatórios estudados.

A partir da experiência com os estudos de qualidade ambiental de reservatórios é sugerido que ecossistemas aquáticos artificiais sejam avaliados a partir de enfoques ecológicos que integrem diferentes escalas e metodologias de influência sobre as comunidades bentônicas.

6 – ICTIOFAUNA EM RESERVATÓRIOS

As informações sobre a biodiversidade de peixes nos reservatórios amostrados, com base nas capturas com redes de emalhar, foram sintetizadas na Tabela 7. São Simão foi o reservatório com maior número de espécies registradas, embora Três Marias tenha apresentado o maior número de exemplares capturados. Por sua vez, Volta Grande obteve a menor riqueza específica, bem como o menor número de exemplares coletados. Dentre os quatro reservatórios amostrados, São Simão foi o que apresentou o maior número de espécies e de exemplares introduzidos.

TABELA 7 – Principais características da ictiofauna amostrada nos reservatórios estudados (NP = Nova Ponte; TM = Três Marias; VG = Volta Grande; SS = São Simão).

| Informações | NP | TM | VG | SS |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Número de indivíduos | 2.463 | 3.843 | 1.488 | 2.843 |
| Número de ordens | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Número de famílias | 12 | 17 | 14 | 18 |
| Número de espécies | 29 | 37 | 30 | 48 |
| Número de espécies conhecidas na bacia | 171 | 205 | 171 | 171 |
| Número de espécies migradoras | 4 | 5 | 4 | 9 |
| Número de espécies não migradoras | 25 | 32 | 26 | 39 |
| Número de espécies exóticas | 5 | 3 | 7 | 9 |
| Número de espécies nativas não migradoras | 20 | 29 | 19 | 30 |
| Número de indivíduos de espécies introduzidas | 222 | 769 | 1.042 | 1.990 |

Reservatórios são, por princípio, sistemas impactados, o que dificulta a aplicação do conceito de áreas de referências. Tendo em mente tal limitação, optamos por escolher para cada reservatório amostrado as dez áreas menos e as dez áreas mais impactadas (Tabelas 8 e 9), com base na riqueza de espécies e no número de peixes capturados.

De um modo geral, a presença ou proximidade de tributários representou uma influência positiva tanto na riqueza de espécies de peixes quanto na abundância dos sítios amostrais nos quatro reservatórios, podendo ser, portanto classificados como os menos impactados. Por outro lado, sítios amostrais próximos à barragem apresentaram as menores riquezas e capturas de peixes, sugerindo que estejam entre os mais impactados. Em Três Marias, no entanto, foi observada uma dispersão dos sítios amostrais mais impactados ao longo de todo reservatório, sem uma nítida concentração na região próxima à barragem.

TABELA 8 – Dez sítios menos impactados nos reservatórios estudados, com base na abundância (CPUE_n = n°. total de indivíduos / esforço total empregado x 100) e riqueza de espécies (S) (NP = Nova Ponte; TM = Três Marias; VG = Volta Grande; SS = São Simão).

| Nova Ponte | | | | Três Marias | | | | Volta Grande | | | | São Simão | | | |
|------------|-------------------|------|----|-------------|-------------------|------|----|--------------|-------------------|------|----|-----------|-------------------|------|----|
| Site | CPUE _n | Site | S | Site | CPUE _n | Site | S | Site | CPUE _n | Site | S | Site | CPUE _n | Site | S |
| 22 | 18,3 | 21 | 12 | 12 | 36,3 | 32 | 16 | 35 | 13,4 | 35 | 9 | 23 | 26,9 | 20 | 13 |
| 33 | 21,5 | 16 | 13 | 30 | 37,5 | 14 | 17 | 14 | 13,5 | 38 | 9 | 14 | 27,5 | 27 | 13 |
| 24 | 22 | 22 | 13 | 9 | 38,9 | 23 | 17 | 30 | 14,8 | 9 | 10 | 3 | 29,2 | 30 | 13 |
| 17 | 23,8 | 25 | 13 | 10 | 39,1 | 12 | 18 | 36 | 16,2 | 12 | 10 | 8 | 29,7 | 32 | 13 |
| 7 | 24,1 | 17 | 14 | 11 | 40,8 | 8 | 19 | 6 | 17,3 | 14 | 10 | 2 | 30,3 | 33 | 13 |
| 19 | 28,5 | 23 | 14 | 28 | 47,3 | 11 | 20 | 9 | 17,6 | 26 | 10 | 31 | 33,1 | 11 | 14 |
| 28 | 28,7 | 24 | 14 | 1 | 47,5 | 1 | 21 | 38 | 22,6 | 29 | 10 | 35 | 33,3 | 14 | 14 |
| 25 | 31 | 29 | 14 | 8 | 50,9 | 19 | 21 | 34 | 23,8 | 40 | 10 | 40 | 40 | 16 | 16 |
| 16 | 31,3 | 15 | 15 | 19 | 52,8 | 10 | 22 | 40 | 31,9 | 30 | 12 | 7 | 40,3 | 17 | 17 |
| 29 | 36,1 | 19 | 15 | 33 | 77,5 | 33 | 22 | 7 | 41,7 | 7 | 13 | 33 | 42,5 | 23 | 26 |

TABELA 9 – Dez sítios menos impactados para os reservatórios estudados, com base na abundância (CPUE_n = n°. total de indivíduos / esforço total empregado x 100) e riqueza de espécies (S) (NP= Nova Ponte; TM= Três Marias; VG = Volta Grande; SS= São Simão).

| Nova Ponte | | | | Três Marias | | | | Volta Grande | | | | São Simão | | | |
|------------|-------------------|------|---|-------------|-------------------|------|----|--------------|-------------------|------|---|-----------|-------------------|------|----|
| Site | CPUE _n | Site | S | Site | CPUE _n | Site | S | Site | CPUE _n | Site | S | Site | CPUE _n | Site | S |
| 40 | 2,8 | 5 | 6 | 7 | 1,4 | 7 | 2 | 23 | 1,2 | 23 | 3 | 21 | 5,6 | 39 | 7 |
| 2 | 3,2 | 38 | 6 | 27 | 8,4 | 38 | 7 | 19 | 2,4 | 36 | 3 | 22 | 6,7 | 1 | 8 |
| 35 | 4,9 | 40 | 6 | 16 | 10,9 | 27 | 8 | 15 | 3,1 | 39 | 3 | 18 | 6,7 | 2 | 8 |
| 38 | 5,1 | 2 | 7 | 21 | 11,2 | 16 | 11 | 24 | 3,1 | 15 | 4 | 15 | 6,9 | 26 | 8 |
| 36 | 5,3 | 9 | 7 | 38 | 11,2 | 18 | 11 | 28 | 3,4 | 22 | 4 | 24 | 8,9 | 3 | 9 |
| 5 | 5,6 | 32 | 7 | 3 | 11,5 | 21 | 11 | 1 | 3,6 | 3 | 5 | 29 | 8,9 | 13 | 9 |
| 27 | 6 | 39 | 7 | 18 | 12 | 39 | 11 | 16 | 3,7 | 17 | 5 | 1 | 9,2 | 29 | 9 |
| 32 | 6 | 4 | 8 | 39 | 12,6 | 6 | 12 | 20 | 3,7 | 19 | 5 | 25 | 11,4 | 36 | 9 |
| 39 | 6,5 | 8 | 8 | 34 | 13,1 | 17 | 12 | 18 | 4 | 24 | 5 | 27 | 11,9 | 4 | 10 |
| 1 | 6,7 | 11 | 8 | 26 | 13,1 | 20 | 12 | 17 | 4,6 | 4 | 6 | 20 | 12,8 | 6 | 10 |

7 – AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG, do Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA, do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas e do Museu de Ciências Naturais da PUC Minas pelo apoio em campo e laboratório. Aos Profs. Carla S. Pavanelli e Cláudio H. Zawadzki do NUPÉLIA (UEM), ao Prof. Francisco Langeani da UNESP de São José do Rio Preto, e ao Prof. José L. O. Birindelli (UEL), pelo valioso auxílio na identificação de uma parte dos peixes capturados. À Cemig – Programa Peixe Vivo, pelo financiamento do projeto e à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio na forma de bolsas. MC recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq No. 302960/2011-2) e bolsa de pesquisador mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00077/13). PSP recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq No. 306325/2011-0) e bolsa de pesquisador mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00237/13).

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELSTAM, P.; GRODZYNSKYI, M.; ANDERSSON, K.; AXELSSON, R.; ELBAKIDZE, M.; KHOROSHEV, A.; KRUHLOV, I. & NAUMOV, V. Measurement, collaborative learning and research for sustainable use of ecosystem services: landscape concepts and Europe as laboratory. *Ambio*, v.42, p. 129–45, 2013.
- FERREIRA, W. R.; LIGEIRO, R.; MACEDO, D.R.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; GONÇALVES, L.O. & CALLISTO, M. Importance of environmental factors on the richness and distribution of benthic macroinvertebrates in tropical headwater streams. *Freshwater Science*, 2014.
- MALCZEWSKI, J. GIS based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, v.20, p. 703–726, 2006.
- RAMANATHAN, R. A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. *Journal of Environmental Management*, v.63, p. 27–35, 2001.
- SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, p. 234–281, 1977.
- TIAN, W.; BAI, J.; SUN, H. & ZHAO, Y. Application of the analytic hierarchy process to a sustainability assessment of coastal beach exploitation: a case study of the wind power projects on the coastal beaches of Yancheng, China. *Journal of Environmental Management*, v.115, p. 251–256, 2013.
- VILLA, F. & MCLEOD, H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. *Environmental Management*, v.29, p. 335–348, 2002.
- WANG, X.D.; ZHONG, X.H.; LIU, S.Z.; LIU, J.G.; WANG, Z.Y. & LI, M.H. Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. *Journal of Arid Environments*, v.72, p. 1929–1939, 2008.

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 10

PERSPECTIVAS NA ABORDAGEM DE ÍNDICES DE INTEGRIDADE BIÓTICA COM PEIXES E BENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NO CERRADO

MARCOS CALLISTO, PAULO S. POMPEU,
CARLOS BERNARDO M. ALVES & GILMAR B. SANTOS

CALLISTO, M.; POMPEU, P.S.; ALVES, C.B.M. & SANTOS, G.B. Perspectivas na abordagem de Índices de Integridade Biótica com peixes e bentos em bacias hidrográficas no cerrado. 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, v. 1, p. 235-240, 2014. (Série Peixe Vivo, 2).

1 – DESDOBRAMENTOS DO PROJETO

A partir da parceria firmada entre a Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Lavras, o CEFET-MG, a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, a Oregon State University, a United States Environmental Protection Agency e a Companhia Energética de Minas Gerais (Programa Peixe Vivo/Cemig), foi possível desenvolver as bases para construção futura de Índices de Integridade Biótica (IBI) como ferramenta para avaliar a qualidade ambiental e subsidiar a restauração de habitats em riachos de quatro de seus reservatórios: Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão.

No entanto, de posse dos dados obtidos, novas perguntas e desafios surgiram com relação ao entendimento dos processos que governam a estruturação das comunidades de peixes em riachos. Com a recente aprovação do projeto FAPEMIG/Cemig intitulado “*Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica: peixes de riachos como indicadores de qualidade de água em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos da Cemig em Minas Gerais*”, será possível, além de avançar na elaboração dos índices, com ênfase na estrutura funcional das comunidades, a implementação de duas novas abordagens pela equipe da UFLA.

Seguindo a metodologia já utilizada, será realizada uma 2ª campanha de amostragens na bacia do reservatório de Nova Ponte. Esta reamostragem, além de possibilitar o teste da eficiência/precisão dos parâmetros levantados quando da primeira visita (2009), permitirá responder às seguintes perguntas: a composição em espécies de cada córrego se mantém ao longo do tempo ou os padrões de diversidade variam temporalmente? Desde que mantidas as condições ambientais dos córregos, como varia temporalmente sua composição em termos de espécies e grupos funcionais? A abordagem deste problema consistirá a dissertação de mestrado da bióloga Daniela Cristina Fagundes.

Acredita-se que as modificações na paisagem terrestre, decorrentes da implantação de sistemas de cultivo e pastagens, tem um grande potencial de alterar as teias tróficas dos ambientes aquáticos. Nesse cenário, a ferramenta da análise de isótopos estáveis se apresenta como uma alternativa, pois permite um estudo mais aprofundado dos ciclos de matéria e energia nesses ambientes. Os isótopos de carbono (^{13}C) e nitrogênio (^{15}N) são os mais amplamente utilizados, pois fornecem informações das fontes de carbono e dos níveis tróficos presentes em uma teia trófica, respectivamente. Neste sentido, a dissertação de mestrado da bióloga Débora Reis de Carvalho irá tratar da variação isotópica das comunidades de peixes presentes em riachos com influência de diferentes usos do solo. Serão analisados

nove riachos afluentes do reservatório de São Simão, sendo três com influência de plantação de cana, três localizados em pastagens e três preservados (condição de referência).

De maneira análoga, a equipe da UFMG aprovou novo projeto no edital P&D ANEEL/Cemig intitulado “GT487 - *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*”. Neste novo Projeto, daremos continuidade à abordagem de parametrização de Índices de Integridade Biótica e desenvolveremos uma série de atividades durante projetos de Pós-doutorado, de Raphael Ligeiro e Wander Ferreira, do pesquisador associado Diego Macedo, dos doutorados de Déborah Regina Silva, Anna Aguiar e Diego Castro, e do mestrado de Maria José Anacléto.

Raphael Ligeiro estudará os efeitos de distúrbios antrópicos sobre os componentes espacial e temporal da diversidade beta de macroinvertebrados bentônicos em riachos de cabeceira na bacia do reservatório de Nova Ponte. No componente espacial da beta diversidade testará os efeitos dos distúrbios sobre a relação entre a heterogeneidade de substratos e a heterogeneidade biológica. No componente temporal da beta diversidade testará os efeitos dos distúrbios sobre a variação observada entre assembleias de macroinvertebrados amostradas em anos distintos, comparando as amostragens realizadas em 2009 (Projeto IBI/Peixe Vivo-Cemig) e 2013/2014 (Projeto atual P&D IBI-ANEEL/Cemig).

Wander Ferreira estudará a partição de diversidade alfa, beta, gama das comunidades de macroinvertebrados bentônicos coletados nos 160 riachos divididos nas 4 bacias hidrográficas do projeto IBI/Peixe Vivo-Cemig nas bacias hidrográficas dos empreendimentos hidrelétricos de Nova Ponte (NP), Três Marias (TM), Volta Grande (VG) e São Simão (SS). Além disso, utilizará a técnica de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio para elucidar as fontes de recursos alimentares utilizados por larvas de *Phylloicus* spp. (Trichoptera, Calamoceratidae), insetos fragmentadores que utilizam detritos foliares de plantas ripárias e partículas finas de matéria orgânica no fundo de riachos de cabeceira.

Diego Macedo colaborará na definição, apoio na localização de sítios amostrais e definição de rotas e acessos para a equipe de pesquisadores, utilizando técnicas de GIS para amostragem espacialmente balanceada, construída através de probabilidades. Realizará também o mapeamento do uso e cobertura do solo nas sub-bacias de drenagem a montante dos trechos de riachos amostrados utilizando imagens de alta resolução espacial e imagens multiespectrais do sensor TM. Estas informações serão utilizadas para realizar uma análise da fragilidade ambiental das bacias hidrográficas dos empreendimentos hidrelétricos de NP, TM, VG e SS.

Déborah Silva trabalhará na parametrização de índices multimétricos integrados para a definição de Índices de Integridade Biótica, avaliando respostas das comunidades de macroinvertebrados bentônicos a alterações antrópicas em 160 riachos nas 4 bacias hidrográficas. Avaliará como os usos antrópicos do solo em diferentes escalas espaciais (local, ripária e bacia) alteram a estrutura dos habitats físicos fluviais e a qualidade da água para realizar o diagnóstico de condições ecológicas de riachos de cabeceira no bioma cerrado.

Diego Castro utilizará a abordagem funcional em comunidades bentônicas para avaliar gradientes de condições ambientais (p.ex. distúrbios antrópicos e cobertura vegetal da zona ripária) e avaliar o fluxo de energia em riachos, possibilitando a identificação de mecanismos causais de impacto, a diferenciação entre impacto e variabilidade natural, e o desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica com base na utilização de “traits” e isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$).

Anna Aguiar estudará as relações entre a composição florística da mata ripária de riachos em condições de referência com a dinâmica de comunidades bentônicas. Avaliará a importância do balanço ecológico entre o aporte alóctone de matéria orgânica e a produção primária autóctone no fluxo de energia. Serão realizados experimentos *in situ* relacionando decomposição de detritos foliares, produção primária de perífiton, produção secundária de comunidades bentônicas e incorporação de energia em invertebrados através da utilização de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$).

Maria José Anacleto estudará as comunidades bentônicas como bioindicadores de qualidade ambiental em macro, meso e microescalas no reservatório de Nova Ponte, avaliando regiões com Máximo Potencial Ecológico e regiões mais severamente alteradas por atividades antrópicas. Composição e distribuição de famílias de invertebrados e gêneros de Chironomidae (Diptera, Insecta), ocorrência e abundância de espécies exóticas de moluscos e camarões, serão métricas biológicas utilizadas como ferramentas ecológicas.

A Profa. Ariádine Almeida orientará no segundo ano deste projeto uma dissertação de mestrado na Universidade Federal de Uberlândia sobre a dinâmica populacional de decápodos da espécie *Macrobrachium amazonicum*. Esta espécie é exótica e extremamente abundante no reservatório de Nova Ponte, participando das cadeias alimentares como alimento para peixes e da cadeia de detritos, participando do processamento de matéria orgânica depositada no fundo do reservatório.

Complementando o trabalho das equipes da UFMG e UFLA, a equipe da PUC-MG aprovou e passará a desenvolver um novo projeto pelo edital P&D ANEEL/Cemig, intitulado “GT477

- *Variações espaciais de médio prazo e Índice de assembleias de peixes para reservatórios como indicadores da qualidade do habitat em empreendimentos hidrelétricos da Cemig em Minas Gerais.* O principal objetivo deste novo projeto será estabelecer para o reservatório de Volta Grande, bacia do Alto Paraná, um índice de avaliação biótica para reservatórios baseado em assembleias de peixes (RFAI) como uma alternativa para o Índice de Integridade Biótica (IBI), uma vez que reservatórios são considerados, por definição, áreas impactadas e carentes de sítios de referências naturais, o que torna difícil estimar um IBI. Serão amostrados 20 pontos em Volta Grande, sendo 12 no eixo central do reservatório, 6 no ribeirão Buriti e Rio do Carmo, principais tributários de reservatório, e 2 pontos imediatamente a jusante da barragem de Volta Grande. As coletas de peixes serão realizadas durante os períodos seco e chuvoso.

As Mestres Bárbara Sanches e Bárbara Becker estarão à frente da tarefa de realizar amostragens de peixes em Volta Grande, bem como de identificar e analisar o material coletado neste reservatório, estabelecer as métricas candidatas baseadas nas assembleias de peixes para a confecção do RFAI e produzir o índice. A metodologia para o estabelecimento do RFAI será adaptada e validada a partir da experiência e em colaboração com colegas americanos da Oregon State University (OSU) e United States Environmental Protection Agency (EPA).

Haverá ainda a participação de 3 bolsistas de iniciação científica a serem incorporados no projeto por ocasião de seu início. Estes estudantes acompanharão as tarefas de campo e de laboratório, bem como todo o processo do estabelecimento do RFAI, como parte do objetivo de formação de recursos humanos estimulado pelas parceiras entre a Cemig e Universidades.

Além das propostas para novas abordagens de pesquisa, os resultados da abordagem de Integridade Biótica podem ser aplicados em outras regiões do Estado e do Brasil e, mais importante, ser utilizada como ferramenta de gestão de bacias hidrográficas. Os comitês de bacia, que estão se estruturando em todo o país, além da Agência Nacional de Águas e os órgãos análogos estaduais (em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas), poderão lançar mão dessa tecnologia ambiental, a fim de obter dados comparáveis geográfica e temporalmente. Os resultados obtidos até agora nesses 5 anos do Projeto Cemig/Peixe Vivo e a perspectiva de novos resultados através dos Projetos da P&D/Anel Cemig e FAPEMIG consolidam a capacidade técnica instalada para avaliar riachos e reservatórios. Além disso, habilitam o grupo de pesquisa formado para planejar, testar e implementar a avaliação de rios de grande porte (rios navegáveis – [boatable rivers]).

2 – AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas dos Laboratório de Ecologia de Bentos da UFMG, Ictiologia da UFLA, do Programa de Pós-graduação em Zoologia de Vertebrados da PUC Minas e CEFET-MG pelo apoio em campo e laboratório. À Cemig – Programa Peixe Vivo pelo financiamento do projeto, CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio na forma de bolsas. Somos especialmente gratos aos colegas norte-americanos Robert Mason Hughes e Philip Robert Kaufmann por apoiarem todas as atividades deste projeto. MC recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq No. 302960/2011-2) e bolsa de pesquisador mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00077/13). PSP recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq No. 306325/2011-0) e bolsa de pesquisador mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG PPM-00237/13).

SÉRIE PEIXE VIVO

CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

CAPÍTULO 11

ANEXOS (TRADUÇÃO DOS
PROTOCOLOS US-EPA,
CÁLCULO DE MÉTRICAS
(RIACHOS E RESERVATÓRIOS),
LISTAGEM DE MATERIAIS.

1 – ANEXOS

Durante o Projeto IBI-Cemig/Peixe Vivo, nossas equipes trabalharam na tradução, validação e padronização dos protocolos de avaliação de habitats físicos em riachos e reservatórios da Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (US Environmental Protection Agency – www.epa.gov). Os formulários aqui anexados são apenas uma tradução para o português, mas os créditos são da US-EPA. Em nossa equipe, dedicaram-se à tradução os colegas (em ordem alfabética): Bárbara Sanches, Carlos Bernardo Mascarenhas Alves, Cecília Gontijo Leal, Diego Rodrigues Macedo, Joseline Molozzi, Letícia de Moraes, Marcos Callisto, Míriam Aparecida de Castro, Nara Tandini Junqueira, Paulo dos Santos Pompeu.

A avaliação dos habitats físicos em riachos foi realizada através da metodologia proposta por Peck et al. (2006). Os principais parâmetros avaliados foram: dimensões do canal, gradiente longitudinal e sinuosidade, tipo de substrato, diversidade de nichos, vegetação ripária, interações entre o entorno e a estrutura do canal e alterações antropogênicas (Anexo 1).

Na região litorânea dos reservatórios, foi utilizado o Protocolo de Caracterização de Habitats Físicos proposto pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA, 2011). O protocolo aplicado nos reservatórios na bacia do rio Paraíba, no semiárido nordestino foi modificado e adaptado por Molozzi et al. (2011). O cálculo das métricas foi realizado de acordo com a metodologia empregada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, descrita pelo trabalho de Kaufmann et al. (2014). Foram utilizados quatro índices para caracterizar os habitats físicos, que se relacionaram a: (i) extensão e intensidade do distúrbio humano na zona ripária (*RDis_IX*); (ii) cobertura e estrutura da vegetação ripária (*RVegQ*); (iii) complexidade da cobertura litorânea (*LitCvrQ*) e (iv) combinação entre complexidade estrutural das zonas ripária e litorânea (*LitRipCvQ*). Esses índices foram compostos por métricas de menor escala, calculadas a partir de somas e médias das características do protocolo (Tabela 1).

TABELA 1 – Métricas de habitat físico calculadas para os reservatórios de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão.

| Índice | Descrição do índice | Variação | Métricas variantes | Descrição das métricas variantes |
|--|--|--|--------------------|--|
| <i>RDis_IX</i> – Índice de distúrbio humano na região de margem (<i>Shoreline human disturbance index</i>) | Avalia a presença de atividades humanas dentro e fora da parcela avaliada. | 0 (ausência de distúrbio) a 1 (total ocorrência de distúrbio). | <i>RDis_IX_Veg</i> | Considera atividades humanas na zona ripária. |
| | | | <i>RDis_IX_Inu</i> | Considera atividades humanas na região inundável. |
| <i>RVegQ</i> – Índice de complexidade de cobertura ripária (<i>Riparian cover complexity index</i>) | Avalia a proporção de vegetação ripária no dossel, bosque, sub-bosque e vegetação rasteira, a ocorrência de substratos grandes (rocha e matacão) e vegetação inundada. | 0 (ausência de cobertura vegetal) a 1 (máxima cobertura vegetal em múltiplos estratos em todos os transectos). | <i>RVegQ_2</i> | Considera a cobertura do dossel, bosque e sub-bosque e vegetação inundada. |
| | | | <i>RVegQ_7</i> | Considera a cobertura do bosque e sub-bosque e a vegetação inundada. |
| | | | <i>RVegQ_8</i> | Considera a cobertura do dossel, bosque e sub-bosque, árvores grandes do dossel, vegetação inundada e substratos de rocha e matacão. |

| Índice | Descrição do índice | Variação | Métricas variantes | Descrição das métricas variantes |
|--|--|---|--|--|
| <i>LitCvrQ</i> – Índice de complexidade de cobertura litorânea (<i>Littoral cover complexity index</i>) | Avalia a cobertura litorânea quanto à presença de macrófitas aquáticas e de componentes de cobertura de origem não antropogênica (substratos, vegetação e madeiras). | 0 (ausência de cobertura litorânea por substratos, vegetação, madeiras e macrófitas) a 1 (máxima cobertura litorânea em todos os transectos). | <i>LitCvrQ_b</i> | Considera todos os tipos de macrófitas aquáticas, substratos, vegetação e madeiras. |
| | | | <i>LitCvrQ_c</i> | Considera macrófitas aquáticas emergentes e flutuantes, substratos, vegetação e madeiras. |
| | | | <i>LitCvrQ_d</i> | Considera macrófitas aquáticas emergentes e flutuantes, e elementos específicos quanto a substratos, vegetação e madeiras. |
| <i>LitRipCvQ</i> - Índice de complexidade de cobertura das zonas ripária e litorânea (<i>Littoral-Riparian Cover Complexity Index</i>) | Combina pares de métricas que compõem os índices, sendo cada par composto por uma métrica de complexidade de cobertura ripária e litorânea. | 0 (ausência de coberturas ripária e litorânea) a 1 (coberturas ripária e litorânea máximas). | <i>RVegQ_2</i> <i>RVegQ_7</i> <i>RVegQ_8</i> <i>LitCvrQ_b</i> <i>LitCvrQ_c</i> <i>LitCvrQ_d</i> | Descrição acima |

2 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KAUFMANN, P.R.; LARSEN, D.P. & FAUSTINI, J.M. Bed Stability and Sedimentation Associated With Human Disturbances in Pacific Northwest Streams. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v.45, p.434–459, 2009.

KAUFMANN, P.R.; PECK, D.V.; PAULSEN, S.G.; SEELIGER, C.W. & KAMMAN, N.C. Lake shoreline and littoral zone habitat structure and disturbance in the National Lakes Assessment., *Lake and Reservoir Management*, v. 30, n. 2, p. 192-215, 2014.

MOLOZZI, J.; FRANÇA, J.S.; ARAUJO, T.L.A.; VIANA, T.H.; HUGHES, R.M. & CALLISTO, M. *Diversidade de habitats físicos e sua relação com macroinvertebrados bentônicos em reservatórios urbanos em Minas Gerais*. Iheringia, Zool, v.101, p.191-199, 2011.

PECK, D.; HERLIHY, A.; HILL, B.; HUGHES, R.; KAUFMANN, P.; KLEMM, D.; LAZORCHAK, J.; MCCORMICK, F.; PETERSON, S.; RINGOLD, P.; MAGEE, T. & CAPPAERT, M. *Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Waters Western Pilot Study: field operations manual for wadeable streams*. EPA/620/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2006.

US-EPA. *Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria: Technical Guidance Document* (EPA 841-B-98-007). Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Washington, DC, 1998.

US-EPA. *National Lakes Assessment. Field Operations Manual*. EPA 841 B-11-003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2011. 2012.

CARACTERIZAÇÃO DE HABITAT FÍSICOS (frente)

Site ID: _____ Data: ____ / ____ / ____ Revisado por (iniciais): _____

ESTAÇÃO: A B C D E F G H I J SE A ESTAÇÃO FOI REALOCADA, INDICAR AQUI:

ESTÁ EM UMA ILHA?
INACESSÍVEL:

LAT: _____ - _____ LONG: _____ - _____

PROFUNDIDADE NA ESTAÇÃO (10 m da margem) _____ (m)

ZONA UTM: _____ E: _____ N: _____

SE O LAGO ESTIVER CHEIO:

Profundidade estimada da linha d'água até a marca do nível normal do lago _____ (m)

Distância horizontal estimada da linha d'água até a marca do nível normal do lago _____ (m)

ZONA LITORANEA

Filme na sup.: Ausente Espuma AlgalMat Óleo Outros

0 = Ausente (0%) 1 = Espaço (<10%) 2 = Moderado (10-40%)
3 = Denso (40-75%) 4 = Muito denso (>75%)

SUBSTRATO DE FUNDO NA ZONA LITORANEA Obs

| | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Rocha (>4000mm; maior que um carro) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Matação (250-4000mm; bola de basquete até carro) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Bloco (64-250mm; bola de tênis até bola de basquete) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Cascalho (2-64mm; jaboticaba até a bola de tênis) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Areia (0.06 - 2mm; arenoso entre os dedos) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Silte, Argila, ou Lama (<0.06mm; não arenoso) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Madeira | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Orgânico (Pacote de folhas, Detritos) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Vegetação ou Outros | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Cor: Preto Cinza Marron Vermelho Outra

Odor: Ausente H₂S Anóxico Óleo Químico Outro

MACRÓFITAS AQUÁTICAS Obs

| | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Submergente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Emergente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Flutuante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Cobertura Total de Macrófitas Aquáticas | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

As macrófitas se estendem além da parcela na zona litorânea?

Sim Não

SE ESTIVER VAZIO (Natural ou Antropogênico):

Altura vertical da linha d'água até a marca da cheia: _____ (m)

Distância horizontal da linha d'água até a marca da cheia: _____ (m)

Ângulo (ver diagrama abaixo):

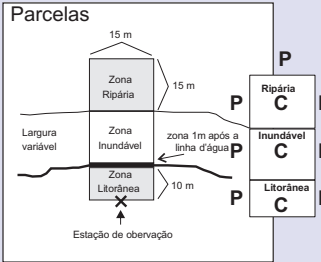
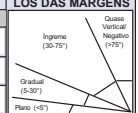
Plano (<5°) Gradual (5-30°)
 Íngreme (30-75°) Quase vertical ou negativo (>75°)

0 = Ausente (0%) 1 = Espaço (<10%) 2 = Moderado (10-40%)
3 = Denso (40-75%) 4 = Muito denso (>75%)

SUBSTRATO 1 METRO APÓS ÁGUA Obs

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

CLASSES DOS ÂNGULOS DAS MARGENS



ABRIGO PARA PEIXES Obs

| | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Veg. herbácea aquática ou inundada | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Madeiras > 0.3 m dia. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Madeiras ou arbusto <0.3 m dia. (vivo ou morto) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Árvores vivas inundadas >0.3 m dia. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Vegetação pendurada acima de 1m | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Margens escavadas ou lajotas | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Matação | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Estruturas humanas - Docas, piers, etc | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

ZONA INUNDÁVEL

ABRIGOS POTENCIAIS Obs

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Código Obs: K = Amostra não coletada, U = Amostra suspeita, F1,F2, etc. = observação feita pela equipe de campo
Explique todos as observações na seção de comentários no verso

CARACTERIZAÇÃO DE HABITAT FÍSICOS (verso)

 Site ID:

 Date: / /

Revisado por (Iniciais): _____

ESTAÇÃO: A B C D E F G H I J

| ZONA RIPÁRIA | | | | | ZONA INUNDÁVEL | | | | |
|--|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|--|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| 0 = Ausente (0%) 1 = Esparço (<10%) 2 = Moderado (10-40%) 3 = Denso (40-75%) 4 = Muito denso (>75%) | | | | | 0 = Ausente (0%) 1 = Esparço (<10%) 2 = Moderado (10-40%) 3 = Denso (40-75%) 4 = Muito denso (>75%) | | | | |
| DOSSEL (>5 m altura) Obs | | | | | DOSSEL (>5 m altura) Obs | | | | |
| <input type="radio"/> Decidual <input type="radio"/> Perenifolia | | <input type="radio"/> Conifera <input type="radio"/> Misturada | | | <input type="radio"/> Decidual <input type="radio"/> Perenifolia | | <input type="radio"/> Conifera <input type="radio"/> Misturada | | |
| Árvores grandes (Tronco >0.3 m DAP) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Árvores pequenas (Tronco <0.3 m DAP) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| SUB-BOSQUE (0.5 a 5m altura) Obs | | | | | SUB-BOSQUE (0.5 a 5m altura) Obs | | | | |
| <input type="radio"/> Decidual <input type="radio"/> Perenifolia | | <input type="radio"/> Conifera <input type="radio"/> Misturada | | | <input type="radio"/> Decidual <input type="radio"/> Perenifolia | | <input type="radio"/> Conifera <input type="radio"/> Misturada | | |
| Arbustos lenhosos & mudas | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ervas sem tronco lenhoso & gramíneas | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| VEGETAÇÃO RASTEIRA (<0.5 altura) Obs | | | | | VEGET. RASTEIRA (<0.5 altura) Obs | | | | |
| <input type="radio"/> Decidual <input type="radio"/> Perenifolia | | <input type="radio"/> Conifera <input type="radio"/> Misturada | | | <input type="radio"/> Decidual <input type="radio"/> Perenifolia | | <input type="radio"/> Conifera <input type="radio"/> Misturada | | |
| Arbustos lenhosos & mudas | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ervas sem tronco lenhoso & gramíneas | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Standing Water or Inundated Vegetation | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Solo sem cobertura ou construções | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| INFLUÊNCIA HUMANA Obs | | | | | INFLUENCIA HUMANA Obs | | | | |
| 0 = Ausente P = Presente dentro da parcela C =Presente fora da parcela | | | | | 0 = Ausente P = Presente dentro da parcela C =Presente fora da parcela | | | | |
| Construções | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Comercial | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Rampa/praias artificiais | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Docas/barcos | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Muros, diques ou gabião | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Lixo ou entulho | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Rodovias ou ferrovias | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Linhas de transmissão | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Plantações de grãos | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pastagem/campo de feno | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pomar | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Parque/gramado | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Outros (Flage explicação) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Código Obs: K = Amostra não coletada, U = Amostra suspeita, F1,F2, etc. = observação feita pela equipe de campo
 Explique todos as observações na seção de comentários

| Obs | Comentários | Obs | Comentários |
|-----|-------------|-----|-------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

PROTOCOLO DE VERIFICAÇÃO DO CANAL - RIACHOS/RIOS

Revisado por (iniciais): _____

NOME DO LOCAL: _____ DATA: ____/____/____ VISITA: 0 1 2 3

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____ EQUIPE: _____
Não se esqueça de registrar o comprimento do trecho na volta.

| COORDENADAS | Seção | Alt. (m) | Coordenada Leste (X) | Coordenada Norte (Y) | Zona UTM |
|-------------|---------------|----------|----------------------|----------------------|----------|
| | GPS - UTM (m) | _____ | _____ | _____ | _____ |
| | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |

DETERMINAÇÃO DO TRECHO DO RIO/RIACHO

| Largura do canal usada para definir o trecho: | DISTÂNCIA (m) DO X-SITE | | Comprimento total do trecho amostrado (m): | Comentário |
|---|-------------------------|------------------------|--|------------|
| | Comprimento a jusante | Comprimento a montante | | |
| _____ | _____ | _____ | _____ | |

EQUIPE

| NOME | Função | | |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Biologia | Geomorfologia | Protocolo |
| _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

COMENTÁRIOS GERAIS:

INSTRUÇÕES PARA CHEGAR AO LOCAL DO RIACHO/RIO:

Registre as informações utilizadas para definir o comprimento do trecho. Esboce as características gerais do trecho no verso desta folha.

Revisado por (iniciais): _____

Habitat Físico: SEÇÃO TRANSVERSAL DO CANAL/ZONA RIPÁRIA - RIACHOS

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____ DATA: _____ / _____ / _____

TRANSECTO: A B C D E F G H I J K L

Canal Lateral

| INFORMAÇÕES DO SUBSTRATO DA SEÇÃO TRANSVERSAL | | | |
|---|--------|-------------------|-----------------------|
| Dist. M. Esq. | Prof | Código Tam. clas. | Inersão / Tipo / Obs. |
| XX-XX m | XXX cm | 0-100% B/F | B/F |
| ESQ | | | |
| C.ESQ | | | |
| CENT | | | |
| C.DIR | | | |
| DIR | | | |

CÓDIGOS DE CLASSES - TAMANHO DO SUBSTRATO Inersão (%)

RL = Rocha (lisa) - (Mais larga que um carro) 0

RS = Rocha (sólida) - (Mais larga que um carro) 0

CO = Concreto (liso) 0

ML = Matacão Largo (1000 até 4000 mm) - (Caixa d'água até um carro)

MT = Matacão (250 até 1000 mm) - (Bola de basquete até caixa d'água)

BL = Bócio (64 até 250 mm) - (Bola de tênis até bola de basquete)

CG = Cascalho Grosso (16 até 64 mm) - (Jabuticaba até bola de tênis)

CF = Cascalho Fino (2 até 16 mm) - (Joaninha até jabuticaba)

AR = Areia (0,06 até 2 mm) - (Areia - até o tamanho de joaninha) 100

RV = Rios (Sítio / Água / Lençol - Não arenoso) 100

RF = Rios (Sítio / Água / Lençol - Arenoso) 100

BF = Banco de Fóssil (G. silhós Pecuneros)

SE = Sarcobátria Fina (Materia orgânica particulada)

MA = Macrófitas

AL = Algas

RT = Raízes Finas da Mata Ciliar

MD = Madeira - (qualquer tamanho)

OT = Outro (escreva comentário abaixo)

| MEDIDAS DA MARGEM | |
|--------------------------|---------------------------|
| Ângulo da margem 0 - 360 | Margem escavada Dist. (m) |
| Esquerda | |
| Direita | |

| MEDIDAS DA MARGEM | |
|--------------------------|---------------------------|
| Ângulo da margem 0 - 360 | Margem escavada Dist. (m) |
| Esquerda | |
| Direita | |

| MEDIDAS DA MARGEM | |
|--------------------------|---------------------------|
| Ângulo da margem 0 - 360 | Margem escavada Dist. (m) |
| Esquerda | |
| Direita | |

| ABRIGO PARA PEIXES/ OUTROS | | COBERTURA NO CANAL | | Obs. | |
|--|-----------|--------------------|--|------|--|
| | | | | | |
| Algas Filamentosas | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Plantas Aquáticas | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Pedraços da Madeira >0.3 m (GRANDE) | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Pedraços de Madeira/Arbustos <0.3 m (PEQ.) | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Arvores vivas ou raízes | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Banco de Folhas | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Vegetação pendurada =<1 m dia Superfície | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Margem Escavada | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Matacão | 0 1 2 3 4 | | | | |
| Estruturas Artificiais | 0 1 2 3 4 | | | | |

| MEDIDAS DA COBERTURA DO DOSSEL | | DENSÍMETRO (0-17Max) | | Obs. | |
|--------------------------------|--|----------------------|--|------|--|
| | | | | | |
| Centro a montante | | | | | |
| Centro a esquerda | | | | | |
| Centro a Jusante | | | | | |

| MEDIDAS DA COBERTURA DO DOSSEL | | DENSÍMETRO (0-17Max) | | Obs. | |
|--------------------------------|--|----------------------|--|------|--|
| | | | | | |
| Centro a montante | | | | | |
| Centro a esquerda | | | | | |
| Centro a Jusante | | | | | |

| ESTIMATIVAS VISUAIS DA ZONA RIPÁRIA | | MARGEM ESQUERDA | | MARGEM DIREITA | | Obs. | |
|---|-----------|----------------------|--|----------------|--|------|--|
| | | Dossel (<5 m altura) | | | | | |
| COBERTURA VEG. DA ZONA RIPÁRIA | | | | | | | |
| Avéves GRANDES (DAP >0.3 m) | 0 1 2 3 4 | | | | | | |
| Avéves PEQUENAS (DAP <0.3 m) | 0 1 2 3 4 | | | | | | |
| Arbustos lenhosos & mudas | 0 1 2 3 4 | | | | | | |
| Ervas sem tronco lenhoso & gramíneas | 0 1 2 3 4 | | | | | | |
| Arbustos lenhosos & mudas | 0 1 2 3 4 | | | | | | |
| Ervas sem tronco lenhoso & gramíneas | 0 1 2 3 4 | | | | | | |
| Arbustos lenhosos & mudas | 0 1 2 3 4 | | | | | | |
| Ervas sem tronco lenhoso & gramíneas | 0 1 2 3 4 | | | | | | |
| Solo sem cobertura vegetal ou serrapilheira | 0 1 2 3 4 | | | | | | |

| INFLUÊNCIA HUMANA | | MARGEM ESQUERDA | | MARGEM DIREITA | | Obs. | |
|-------------------------------|---------|-----------------|--|----------------|--|------|--|
| | | | | | | | |
| Munícípiu/Capitálizáo | 0 P C B | | | | | | |
| gabiú/barraménto | 0 P C B | | | | | | |
| Construções | 0 P C B | | | | | | |
| Estrada calçada ou cascalhada | 0 P C B | | | | | | |
| Rodovia/Ferrovia | 0 P C B | | | | | | |
| Canos (Captação/descarga) | 0 P C B | | | | | | |
| Eruhuóluo | 0 P C B | | | | | | |
| Parque/Gramado | 0 P C B | | | | | | |
| Plantações de Grábs | 0 P C B | | | | | | |
| Pastagem/ campo de leno | 0 P C B | | | | | | |
| Silvicultura/ desmatamento | 0 P C B | | | | | | |
| Mineração | 0 P C B | | | | | | |

Obs. K = Amostra não coletada; U = Amostra suspeita F1, F2, etc. = obs. feita pela equipe de campo. Explique todas as observações na seção de comentários.

Habitat Físico: PERFIL LONGITUDINAL & PEDAÇOS DE MADEIRA DO RIACHO

Revisado por (iniciais): _____

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____

DATA: _____ / _____ / _____

TRANSECTO: A B C D E F G H I J K L

| TRANS-SECTO | PROFUNDIDADE (cm) (XX) | LARGURA (m) (XX.X) | | LARGURA DAS BARRAS (m) (XX.X) | | PERFIL LONGITUDINAL | | SOMENTE p/ os transectos A e B: | | CANAL LATERAL | BACK-WATER | OBS. | Incremento (m) X.X: | Comprimento total do trecho (m): | COMENTÁRIOS |
|-------------|------------------------|--------------------|------|-------------------------------|------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|--|---------------|------------|------|---------------------|----------------------------------|-------------|
| | | Presente | XX.X | XX.X | XX.X | CÓDIGO DA FORMADA FISINA | CÓDIGO DA UNIDADE DO CANAL | SEDMENTOS PEQUENOS < 4-CM/CALCIC | | | | | | | |
| 0 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 1 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 2 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 3 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 4 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 5 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 6 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| *7 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 8 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 9 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 10 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 11 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 12 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 13 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |
| 14 | | S | N | | | S | N | | | S | N | S | N | | |

| SUBSTRATO | Transsecto | ESQ | C.ESQ | CENT | C.DIR | DIR | OBS. | COD. DA FISINA |
|---|------------|-----|-------|------|-------|-----|------|---|
| | 7 | | | | | | | N = Não é uma piscina N1 = Não é uma piscina, mas é um grande de madeira R = Raiz B = Matépio ou rocha C = Cascalho CO = Cascalho grosso COB = Cascalho fino VR = VR BR = BR WRB = WRB |
| COMENTÁRIOS (para SUBSTRATO e PGM) | | | | | | | | |
| COD. DAS UNIDADES DO CANAL PP = Piscina após queda PT = Piscina entechada PL = Piscina formada pela PD = Piscina formada por remanso PB = Piscina formada por represamento GL = Fluxo suave RI = Consolida CA = Cascalho FA = Queda DR = Canal seco | | | | | | | | |
| CÓDIGOS DAS CLASSES DO TAMANHO DO SUBSTRATO FN = Sólido granelado (não arred.) AC = Agulha consolidada (Hedden) - Substrato fino, consolidado BF = Banco de Folhas e Galhos Pequenos SF = Serrapilheira Fina (Materia Orgânica Particulada) MA = Macrófitas RT = Raízes Finas da Mata Clara MD = Madeira (qualquer formato) OT = Outro (escreva comentário no verso) | | | | | | | | |
| RL = Rocha (lisa) - (mas larga que um carro) RR = Rocha (rugosa) - (mas larga que um carro) CO = Concreto/Asfalto - (mas larga que um carro) CD = Cascalho fino (40 a 4000 mm) - (Cascalho fino sem casca) MT = Madeira (250 a 1000 mm) - (Bola de basquete até bola de futebol) BL = Boco (64 TO 250 mm) - (Bola de tênis até bola de basquete) CG = Cascalho grosso (16 até 64 mm) - (fabricata até bola de tênis) CF = Cascalho fino (16 até 16 mm) - (domina até jibibricatas) AR = Arvore (06 até 2mm) - (Arvore - até o tamanho da pinna) | | | | | | | | |

Códigos das OBS: K = medição não realizada; U = medições suspensas; F1, F2, etc. = obs. feitas pela equipe de campo; G1, G2, etc. para bandeiras não específicas para um transecto. Explique todas as OBS. nos Comentários

| PEDAÇOS GRANDES DE MADEIRA (diam. extremidade menor > 10 cm, comp > 1,5 m) | PEÇAS OU PEDAÇOS DENTRO DO LEITO SAZONAL | PEÇAS OU PEDAÇOS ACIMA DO LEITO SAZONAL | OBS. |
|--|--|---|------|
| | | | |
| 1.5-5m | 5-15m | 1.5-5m | >15m |
| 0.1-0.3 m | | | |
| 0.3-0.6 m | | | |
| 0.6-0.8 m | | | |
| >0.8 m | | | |

Habitat Físico: DECLIVIDADE & DIREÇÃO - RIACHOS

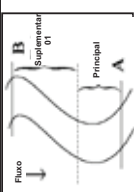
Revisado por (iniciais): _____

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____ DATA: ____/____/____

| PRINCIPAL (sempre usado) | | SUPLEMENTAR - 01 | | SUPLEMENTAR - 02 | | | |
|--|--|------------------|---------------|---------------------------------------|----------------|---------------|------|
| TRANSECTO & MÉTODO | Decliv.(%) ou Elev. Diferencial. (cm) | ANGULO 0 - 359 | PROPOR- ÇAO % | Decliv.(%) ou Elev. Diferencial. (cm) | ANGULO 0 - 359 | PROPOR- ÇAO % | OBS. |
| <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> TR | <input type="checkbox"/> * <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| A < B <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| B < C <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| C < D <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| D < E <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| E < F <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| F < G <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| G < H <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| H < I <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| I < J <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |
| J < K <input type="checkbox"/> HL <input type="checkbox"/> WT <input type="checkbox"/> LA <input type="checkbox"/> Other | <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> cm | | | | | | |

COMENTÁRIOS

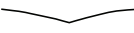





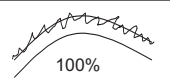
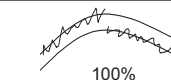
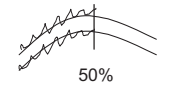
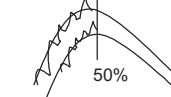
OBS. _____



Código das OBS.: K = Amostra não coletada; U = Amostra suspensa; F1, F2, M (M = Método - usar somente para métodos comentados) = obs. feita pela equipe de campo. Explique todas as OBS. na seção de comentários CL=Cinômetro; HL=nível de água feito a mão; LA=Medidor laser com clinômetro; TR=passagem; WT=Água canalizada.

ENCAIXAMENTO DO CANAL - RIACHOS E RIOS

Revisado por (iniciais): _____

| | | | |
|--|---|--|--|
| IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____ | | DATA: ____ / ____ / ____ | |
| ENCAIXAMENTO DO CANAL | | | |
| PADRÃO DO CANAL (Marque uma opção) | | | |
| <input type="checkbox"/> Canal único <input type="checkbox"/> Canal anastomosado (complexo) - (Separação e junção de um canal mais longo em canais menores, separados por ilhas fixas e vegetadas) <input type="checkbox"/> Canal entrelaçado - (Separação e junção de vários canais estreitos - existe apenas um único canal que é cortado por numerosas barras móveis e desprovidas de vegetação no seu leito) | | | |
| ENCAIXAMENTO DO CANAL (Marque uma opção) | | | |
| <input type="checkbox"/> Vale em «V» raso |  | <input type="checkbox"/> Concavo/abaulado |  |
| <input type="checkbox"/> Vale em «V» profundo |  | <input type="checkbox"/> Vale assimétrico |  |
| <input type="checkbox"/> Garganta |  | <input type="checkbox"/> Vale em «U» |  |
| <input type="checkbox"/> Vale não perceptível | | | |
| _____ | | | |
| CARACTERÍSTICAS DO ENCAIXAMENTO (Marque uma opção) | | | |
| <input type="checkbox"/> Rocha (o canal formado predominantemente pela rocha; formato de garganta) <input type="checkbox"/> Vale (canal encaixado em um vale estreito em formato de V) <input type="checkbox"/> Terraço (canal encaixado devido a sua incisão nos depósitos aluviais) <input type="checkbox"/> Alterações antrópicas nas margens (encaixamento em gabião, aterros, diques, estradas, etc) <input type="checkbox"/> Não há feições de encaixamento | | | |
| Porcentagem do comp. do canal com a margem em contato com a feição de encaixamento _____ % ---> (0-100%) | Exemplos de porcentagem das margens do canal | | |
| Largura do leito sazonal _____ (m) |  100% |  100% | |
| Largura do vale (Média de estimativa visual): _____ (m) |  50% |  50% | |
| Se você não pode ver as bordas do vale, registre a distância que você pode ver e marque a opção ao lado. <input type="checkbox"/> | | | |
| Comentários | _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ | | |

PROTOCOLO - DESCARGA DO RIACHO

Revisado por (iniciais): _____

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____

DATA: ____ / ____ / ____

| <input type="checkbox"/> Área de velocidade | | | | |
|---|--------------|----------------------------|------|--|
| Unidades de distância: cm | | Unidade de velocidade: m/s | | |
| Unidade de comprimento: cm | | | | |
| <small>(A última medida deve ser da margem esquerda).</small> | | | | |
| Dist. da margem | Profundidade | Velocidade | Obs. | |
| 1 | 0 | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |
| 20 | | | | |

| <input type="checkbox"/> Tempo de preenchimento | | | |
|---|------------|-----------|-------|
| Medição | Volume (L) | Tempo (s) | Obs. |
| 1 | _____* | _____* | _____ |
| 2 | _____* | _____* | _____ |
| 3 | _____* | _____* | _____ |
| 4 | _____* | _____* | _____ |
| 5 | _____* | _____* | _____ |

| <input type="checkbox"/> Objeto Flutuante Neutro | | | |
|--|---------------|---------------|-----------------|
| | Flutuação 1 | Flutuação 2 | Flutuação 3 |
| Dist. flut. (m) | _____ | _____ | _____ |
| Tempo flut. (s) | _____ | _____ | _____ |
| Obs. | _____ | _____ | _____ |
| Seções Transversais nos trechos de flutuação | | | |
| | Seção a mont. | Seção interm. | Seção a jusante |
| Largura (m) | _____* | _____* | _____* |
| Profundidade 1 (cm) | _____ | _____ | _____ |
| Profundidade 2 | _____ | _____ | _____ |
| Profundidade 3 | _____ | _____ | _____ |
| Profundidade 4 | _____ | _____ | _____ |
| Profundidade 5 | _____ | _____ | _____ |

| | | | |
|------------------------------------|--|-----|----------------------|
| <input type="checkbox"/> Q (Vazão) | Se a descarga for determinada diretamente em campo, anote o valor aqui: Q = _____ m³/s | OBS | <input type="text"/> |
|------------------------------------|--|-----|----------------------|

| Obs. | Comentários |
|-------|-------------|
| _____ | |
| | |

PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DO CANAL- RIACHOS/RIOS

Revisado por (Iniciais): _____

| | |
|---|-----------------------------|
| IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____ | DATA: ____/____/____ |
|---|-----------------------------|

| USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA E DISTÚRBIOS OBSERVADOS | | (Intensidade : Em branco = não observado, L=baixo, M=moderado, H=alto) | | | |
|--|------------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|--|
| Residencial | Recreativo | Agrícola | Industrial | Intervenções nos riachos | |
| L M H Residências | L M H Trihas para caminhadas | L M H Plantação | L M H Fábricas | L M H Calagem | |
| L M H Gramados | L M H Parque | L M H Pastagem | L M H Mineração/Pedreiras | L M H Tratamento Químico | |
| L M H Construções | L M H Acampamento | L M H Pecuária | L M H Poço de gás/petróleo | L M H Pressão de pesca | |
| L M H Dutos; tubulação | L M H Lixo | L M H Pomares | L M H Hidrelétricas | L M H Dragagem | |
| L M H Depósito de lixo | L M H Filme na superfície | L M H Aves domésticas | L M H Silvicultura/desmatamento | L M H Canalização | |
| L M H Rodovias | | L M H Equip. Irrigação | L M H Evidências de queimadas | L M H Flutuações do nível d'água | |
| L M H Pontes/bueiros | | L M H Captação de água | L M H Odores | L M H Piscicultura | |
| L M H Tratamento de esgoto | | | L M H Comercial | L M H Barragens | |

| CARACTERÍSTICAS DO LUGAR (raio de 200 m) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Características do Corpo d'água | <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Natural</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 1</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">Altamente perturbado Desagradável</td> </tr> <tr> <td>Agradável</td> <td><input type="checkbox"/> 5</td> <td><input type="checkbox"/> 4</td> <td><input type="checkbox"/> 3</td> <td><input type="checkbox"/> 2</td> <td><input type="checkbox"/> 1</td> </tr> </table> | Natural | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 1 | Altamente perturbado Desagradável | Agradável | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 1 |
| Natural | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 1 | Altamente perturbado Desagradável | | | | | | | | |
| Agradável | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 1 | | | | | | | | | |
| Uso do solo predominante | <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="font-size: small;">Uso do solo predominante Assinala com um X</td> <td><input type="checkbox"/> Florestal</td> <td><input type="checkbox"/> Agrícola</td> <td><input type="checkbox"/> Pastagem</td> <td><input type="checkbox"/> Urbano</td> <td><input type="checkbox"/> Peri-urbano</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">Se floresta, classe de idade dominante</td> <td><input type="checkbox"/> 0 - 25 anos</td> <td><input type="checkbox"/> 25 - 75 anos</td> <td><input type="checkbox"/> > 75 anos</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table> | Uso do solo predominante Assinala com um X | <input type="checkbox"/> Florestal | <input type="checkbox"/> Agrícola | <input type="checkbox"/> Pastagem | <input type="checkbox"/> Urbano | <input type="checkbox"/> Peri-urbano | Se floresta, classe de idade dominante | <input type="checkbox"/> 0 - 25 anos | <input type="checkbox"/> 25 - 75 anos | <input type="checkbox"/> > 75 anos | | | |
| Uso do solo predominante Assinala com um X | <input type="checkbox"/> Florestal | <input type="checkbox"/> Agrícola | <input type="checkbox"/> Pastagem | <input type="checkbox"/> Urbano | <input type="checkbox"/> Peri-urbano | | | | | | | | | |
| Se floresta, classe de idade dominante | <input type="checkbox"/> 0 - 25 anos | <input type="checkbox"/> 25 - 75 anos | <input type="checkbox"/> > 75 anos | | | | | | | | | | | |

| CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS | |
|------------------------|--|
|------------------------|--|

| AVALIAÇÃO GERAL (Integridade biótica, diversidade da vegetação, algum outro comentário relevante) |
|---|
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |

PROTOCOLO DE AMOSTRAS COLETADAS

Revisado por (Iniciais): _____

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____

DATA: ____/____/____

AMOSTRAS DE BENTOS - MÚLTIPLOS HABITATS

| AMOSTRAS DE BENTOS - MÚLTIPLOS HABITATS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|
| TRANSECTO | | A | | B | | C | | D | | E | | F | | G | | H | | I | | J | | K | | |
| No ETIQUETA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUBSTRATO | CANAL | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | Sub. | Canal | |
| Silte, argila ou lama | Piscina | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> L | <input type="checkbox"/> PI | |
| | Areia | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> SL | |
| Cascalho | Fluxo suave lento | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> C | <input type="checkbox"/> SR | |
| | Fluxo suave rápido | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> S | <input type="checkbox"/> CO | |
| Bloco | Rápido | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> RA | |
| Banco de folhas | | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> F | |
| Velocidade (m/s) | | _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Profundidade (cm) | | _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

AMOSTRA DE BENTOS - FOLHIÇO

| AMOSTRA DE BENTOS - FOLHIÇO | | | | | | | | | | Comentários | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| TRANSECTO | | A | | B | | C | | D | | | E |
| No ETIQUETA | | | | | | | | | | | |
| Piscina | | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> PI | <input type="checkbox"/> PI | |
| | Fluxo Suave Lento | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> SL | <input type="checkbox"/> SL | |
| | Fluxo Suave Rápido | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> SR | <input type="checkbox"/> SR | |
| | Corredeira | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> CO | |
| | Rápido | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> RA | <input type="checkbox"/> RA | |

AMOSTRAS DE PEIXES

| AMOSTRAS DE PEIXES | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|
| TRANSECTO | | A | | B | | C | | D | | E | |
| No ETIQUETA | | | | | | | | | | | |
| Comentários | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

QUÍMICA DA ÁGUA - RIACHOS E RIOS

Revisado por (Iniciais): _____

| | |
|---|-----------------------------|
| IDENTIFICAÇÃO DO PONTO (ID): _____ | DATA: ____/____/____ |
|---|-----------------------------|

QUÍMICA DA ÁGUA

| | | |
|---|---------------------------------|---|
| Hora : ____:____ | pH: ____ | OD : Vol (1) ml: ____ Vol (2) ml: ____ Normalidade: ____ Concentração final mg/l: ____ |
| Temperatura (C): ____ | STD mg/l: ____ | |
| Condutividade μS/cm: ____ | Turbidez NTU: ____ | |
| Nitrogênio Total mg/l: ____ | Fósforo Total mg/l: ____ | |

| | | |
|--|---|--|
| Alcalinidade : Vol (1) ml: ____ Vol (2) ml: ____ Vol (3) ml: ____ | pH (1): ____ pH (2): ____ pH (3): ____ | Normalidade: ____ Concentração final μEq/l: ____ |
|--|---|--|

Comentários

TABELA 1 – Listagem de materiais para amostragem biológica em riachos e para aplicação de protocolo IBI.

| Material de Segurança |
|--|
| Macacão ou Bota Longa - Borracha |
| Perneiras |
| Luvas cano longo – Borracha |
| Luvas – Látex |
| Álcool Iodado |
| Maleta (kit) de Primeiros Socorros |
| Capas de Chuva |
| Galão de Água potável (garrafa térmica) |
| Facão |
| Bolsa Térmica |
| Maleta de Ferramentas |
| Amostragem – Habitat Físico |
| Protocolo EPA – Papel <i>Rite in the Rain</i> , à prova d'água |
| Clinômetro |
| Densímetro |
| Bússola |
| Objeto Flutuante ou Fluxômetro (fluxo) |
| <i>Pole</i> (Crain Fiberglass Telescoping) – haste retrátil graduada (sistema metrico) de 5 metros |
| <i>Mini Pole</i> (Tubo PVC – 2 metros comprimento – graduado em centímetros) |
| Trena - 50m |
| Kit régua - 30 ou 50cm + mangueira – 20m + elástico (declividade) |
| Balde graduado (litros) |
| Bandeiras para marcação de seções (A-K) |
| Material Papelaria (caneta, lápis 2B, caneta de marcação permanente, fita crepe, fita transparente, barbante, caderno de campo, tesoura) |
| Prancheta |
| Colete para Equipamentos |

Amostragem – Análises Físicas e Químicas

pHmetro

Condutivímetro

Turbidímetro

Oxímetro ou Material para Oxigênio Dissolvido (Frasco Winkler-300mL/Sulfato-1mL/Azida-1mL)

Garrafas plásticas - 500mL (amostras NTotal/PTotal)

Garrafas plásticas - 100mL (amostras Alcalinidade Total)

Garrafas Âmbar - 1L (amostras Clorofila *a*)

Termômetro (de bulbo ou aparelho)

Água Destilada

Vidrarias variadas (Análises de oxigênio dissolvido, alcalinidade, nitrogênio e fósforo total)

Reagentes variados (Análises de oxigênio dissolvido, alcalinidade, nitrogênio e fósforo total)

Equipamentos variados (Análises de oxigênio dissolvido, alcalinidade, nitrogênio e fósforo total)

Amostragem – Macroinvertebrados Bentônicos

Licença para Coleta de Macroinvertebrados Bentônicos

Amostrador Rede em D – 30cm

Bombonas plásticas – 100L

Bombonas plásticas – 10L

Sacos Plásticos – 40 x 60 x 0,20

Etiquetas Identificação

Formol

Amostragem – Peixes

Licença para Coleta de Peixes

Amostrador Rede em D – Peneira Tela Mosquiteiro

Redes de Arrasto – de tela mosquiteira (malha 1mm) e picaré (malhas 0,5 e 1,0 cm)

Cronômetro

Baldes (10 e 20 litros)

Bandejas para triagem e etiquetação

| |
|---|
| Formol |
| Álcool |
| Tubos Falcon |
| Bombonas plásticas – 50L |
| Bombonas plásticas – 10L |
| Sacos Plásticos – tamanhos variados |
| Plaqueta Identificação- (etiquetas ou rotulador de fita vinílica) |
| Maleta Completa (pinça, tesoura, linha urso, furador sacos plásticos, etc.) |
| Óleo de cravo |
| Equipamentos Diversos |
| GPS |
| Máquina Fotográfica Digital |

TABELA 2 – Listagem de materiais para amostragem biológica em reservatórios e para aplicação de protocolo IBI.

| |
|--|
| Material de Segurança |
| Luvas cano longo – Borracha |
| Luvas – Látex |
| Luvas – Pano |
| Álcool Iodado |
| Maleta (kit) de Primeiros Socorros |
| Capas de Chuva |
| Galão de Água Potável (garrafa térmica) |
| Facão |
| Bolsa Térmica |
| Coletes Salva-Vidas |
| Amostragem – Habitat Físico |
| Protocolo EPA – Papel <i>Rite in the Rain</i> |
| Profundímetro |
| Sonar (Medidor Distância Laser) |
| <i>Pole</i> (Crain Fiberglass Telescoping) – haste retrátil graduada (sistema métrico) de 5 metros |

Material Papelaria (caneta, lápis 2B, caneta de marcação permanente, fita crepe, fita transparente, barbante, caderno de campo, tesoura)

Prancheta

Colete para Equipamentos

Amostragem – Análises Físicas e Químicas

Aparelho Mutiparâmetros (pHmetro, condutivímetro, oxímetro, termômetro, clorofila)

Garrafa Van D'Orn

Disco Secchi

Turbidímetro

Material para Oxigênio Dissolvido – se não for medido com aparelho (Frasco Winkler-300mL/Sulfato-1mL/Azida-1mL)

Garrafas plásticas - 500mL (amostras N_{Total}/P_{Total}/Ortofosfato)

Garrafas plásticas- 100mL (amostras Alcalinidade Total)

Garrafas Âmbar - 1L (amostras Clorofila *a*)

Termômetro

Água Destilada

Vidrarias variadas (Análises de oxigênio dissolvido, alcalinidade, nitrogênio e fósforo total, ortofosfato)

Reagentes variados (Análises de oxigênio dissolvido, alcalinidade, nitrogênio e fósforo total, ortofosfato)

Equipamentos variados (Análises de oxigênio dissolvido, alcalinidade, nitrogênio e fósforo total, ortofosfato)

Amostragem – Macroinvertebrados Bentônicos

Licença para Coleta de Macroinvertebrados Bentônicos

Amostrador Draga Eckman – corda 30m

Amostrador Draga Petersen ou Van Veen – corda 30m

Bombonas – 100L

Sacos Plásticos – 50 x 70 x 0,20

Potes Plásticos – 500grs (análise granulométrica)

Etiquetas Identificação

Formol

Amostragem – Peixes

Licença para Coleta de Peixes

Rede Emalhar – tamanhos e malhas variados

Redes de Arrasto – de tela mosquiteira (malha 1mm) e picaré (malhas 0,5 e 1,0 cm)

Baldes (10 e 20 litros)

Bandejas para triagem e etiquetação

Formol

Álcool

Bombonas – 50L

Sacos Plásticos – tamanhos variados

Plaqueta Identificação - (etiquetas ou rotulador de fita vinílica)

Maleta Completa (pinças, tesouras, linha urso, alicate vazador de sacos plásticos, etc.)

Equipamentos Diversos

GPS

Máquina Fotográfica Digital

Este livro foi composto nos tipos Minion Pro e Futura Std em novembro de 2014.

A impressão e acabamento foram feitos em papel couché fosco 150g (miolo) e supremo 300g (capa) pela gráfica Rona Editora.



ISBN 978-85-87929-52-5