XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafios do conhecimento e da gestão
De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

ÍNDICES DE INTEGRIDADE BIÓTICA (IBI) COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NO CERRADO (P&D ANEEL/CEMIG GT-487)

Marcos Callisto[1]; Carlos B. M. Alves[1]; Wander Ferreira[1]; Déborah Silva[1]; Diego Castro[1]; Kele Firmiano[1]; Juliana França[1]; Diego Macedo[1]; Maria Anacleto[1]; Isabela Martins[1]; Magda Greco[2]; Helen Mota[2]

Resumo – Distúrbios antrópicos e seus efeitos sobre os recursos naturais devem ser avaliados para subsidiar programas de monitoramento ambiental, proposição de medidas de recuperação de áreas minimamente alteradas e sua biodiversidade. O desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica (IBI) permite avaliar a capacidade de manutenção e suporte de comunidades biológicas preservando sua composição, diversidade e estrutura funcional de forma comparável às características naturais. O objetivo foi desenvolver a abordagem IBI para as bacias hidrográficas de quatro empreendimentos hidrelétricos no cerrado mineiro, utilizando diferentes escalas espaciais, índices de hábitats físicos e vegetação ripária e métricas biológicas de comunidades. Os resultados identificam áreas em condições de referência (minimamente alteradas por atividades humanas ou em Máximo Potencial Ecológico), áreas alteradas e regiões severamente impactadas. Foi proposto um Índice de Fragilidade Ambiental com a síntese dos resultados de Integridade Biótica nas bacias, como subsídio à gestão ambiental e proposição de medidas prioritárias para a conservação da biodiversidade aquática. Essas informações podem ser prontamente utilizadas por Agências de Bacia, permitindo comparações espaciais na escala temporal.

Palavras-Chave – qualidade ambiental, usinas hidrelétricas, integridade biótica.

INDICES OF BIOLOGICAL INTEGRITY (IBI): A TOOL FOR ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN HYDROPOWER PLANT BASINS IN NEOTROPICAL SAVANNA (P&D ANEEL/CEMIG GT-487)

Abstract – Human disturbances and their effects on natural resources should be evaluated to support environmental monitoring programs, recuperation and preservation of reference sites and their biodiversity. The development of Biological Integrity Indices allows to assess the capacity of maintaining and to support biological assemblages, and their composition, diversity and functional structure, comparable to reference conditions. The objective was to develop the IBI approach for four power plant basins in the Neotropical savannah, using different spatial scales, physical habitat and riparian vegetation indices, biological metrics and riparian integrity. The results identify reference condition sites, altered sites and severely impacted sites, and biological responses to human disturbance. An Environmental Fragility Index synthesized the biological integrity in the four studied basins, and represents a practical tool for environmental management and conservation of freshwater biodiversity in power plant basins. Such information could be promptly used by Watershed Agencies, allowing spatial comparisons at the temporal scale.

Key-words – environmental quality, hydroelectric power plants, biotic integrity.

[1] Universidade Federal de Minas Gerais, ICB, Depto. Biologia Geral, Lab. Ecologia de Bentos, callistom@ufmg.br, cbmalves@ufmg.br, ferreirawr@gmail.com, deborah.ufmg@gmail.br, diegobioufla@gmail.com, kelerocha@gmail.com, jsfranca@ufmg.br, rodriguesmacedo@gmail.com, mariajose_anacleto@yahoo.com.br, isa.bela57@hotmail.com
[2] Companhia Energética de Minas Gerais, Programa Peixe Vivo, magda.greco@cemig.com.br, helen.mota@cemig.com.br

INTRODUÇÃO

Os projetos de infraestrutura para geração de energia elétrica são planejados em benefício da sociedade, porém implicam em transformações ambientais, econômicas e socioculturais de diferentes magnitudes. O represamento da água causa alterações nas suas características físicas, químicas e biológicas. O desenvolvimento de abordagens inovadoras que considerem os múltiplos fatores que condicionam a estrutura e funcionamento dos ambientes aquáticos e que interfiram na dinâmica de sua integridade ecológica é uma estratégia que possibilita medir a "saúde" do ecossistema aquático. Com este conhecimento, a Cemig avalia e monitora as alterações ambientais de forma mais abrangente e eficaz.

Com o intuito de entender a relação entre os distúrbios antrópicos e seus efeitos nos ecossistemas aquáticos, bem como de fornecer uma ferramenta para avaliar e monitorar estes ambientes, Karr (1981) propôs o Índice de Integridade Biótica (IBI). O conceito de integridade biótica representa a capacidade de manutenção e suporte de comunidades biológicas preservando sua composição, diversidade e estrutura funcional de forma comparável às características naturais da região, ou minimamente perturbados por ações humanas. Esse índice integra características da comunidade através de vários atributos (ou métricas), tais como: riqueza de espécies, composição trófica, abundância de indivíduos, etc., e correlacionam significativos aspectos de ocupação humana. É uma ferramenta de avaliação quantitativa do ambiente, incorporando informações ecológicas em níveis de indivíduos, populações e comunidades. Além de medidas bióticas, o índice agrega também dados físicos e químicos, sendo interpretado em associação com descritores de qualidade química da água e da estrutura física e aspectos da paisagem do ecossistema em estudo ou ainda da história de uso da terra.

O objetivo deste estudo é descrever os avanços de um amplo projeto P&D ANEEL/CEMIG com a abordagem IBI para as bacias hidrográficas de quatro empreendimentos hidrelétricos no cerrado mineiro, utilizando diferentes escalas espaciais, índices de hábitats físicos e vegetação ripária, métricas biológicas de comunidades de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água.

MATERIAL & MÉTODOS

As amostragens foram realizadas em 160 riachos (1-3ª ordem) a montante dos reservatórios hidrelétricos de Nova Ponte, São Simão, Volta Grande e Três Marias no cerrado mineiro (Callisto *et al.*, 2014) e em 40 sítios amostrais na região litorânea de cada reservatório (Martins *et al.,* 2014) (Figura 1).

Em campo foram realizadas mensurações de parâmetros físicos e químicos (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e nitrogênio total), avaliada a diversidade de habitats físicos [Protocolo US-EPA traduzido, Callisto *et al.* (2014)] e amostradas comunidades de macroinvertebrados bentônicos [Ligeiro *et al.* (2013), Ferreira *et al.* (2014), Silva *et al.* (2014), Macedo *et al.* (2014)]. Os macroinvertebrados bentônicos foram classificados em grupos tróficos funcionais conforme descrito em Ferreira *et al.* (2015).

Para o desenvolvimento da abordagem de Índices de Integridade Biótica na caracterização de qualidade ambiental de bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos, foram calculadas métricas de uso do solo, hábitat físico, qualidade de água, biológicas e ecologia funcional (*traits*), comparando sítios amostrais teste com sítios em condições de referencia, conforme Figura 2.

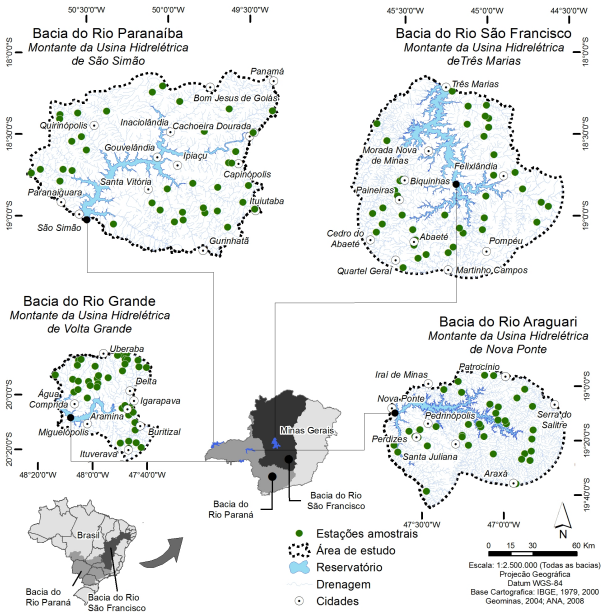

Figura 1. Localização das áreas de estudo.

Figura 2: Síntese métricas e abordagens utilizadas para o desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos.

Foi desenvolvida uma primeira abordagem de Índice de Integridade Biótica (IBI) baseado na assembleia de macroinvertebrados bentônicos para os riachos a montante do reservatório de Nova Ponte. Foram desenvolvidas e testadas quatro propostas de IBI, utilizando análise de cluster (PCA) ou selecionando as métricas mais sensíveis em cada categoria (p.ex. tolerância, grupos tróficos, etc.) e considerando a necessidade de correção das métricas biológicas em relação à paisagem, para ambas abordagens (Figura 8). A melhor resposta em relação ao impacto antrópico foi do IBI construído considerando a PCA e correção em relação à paisagem.

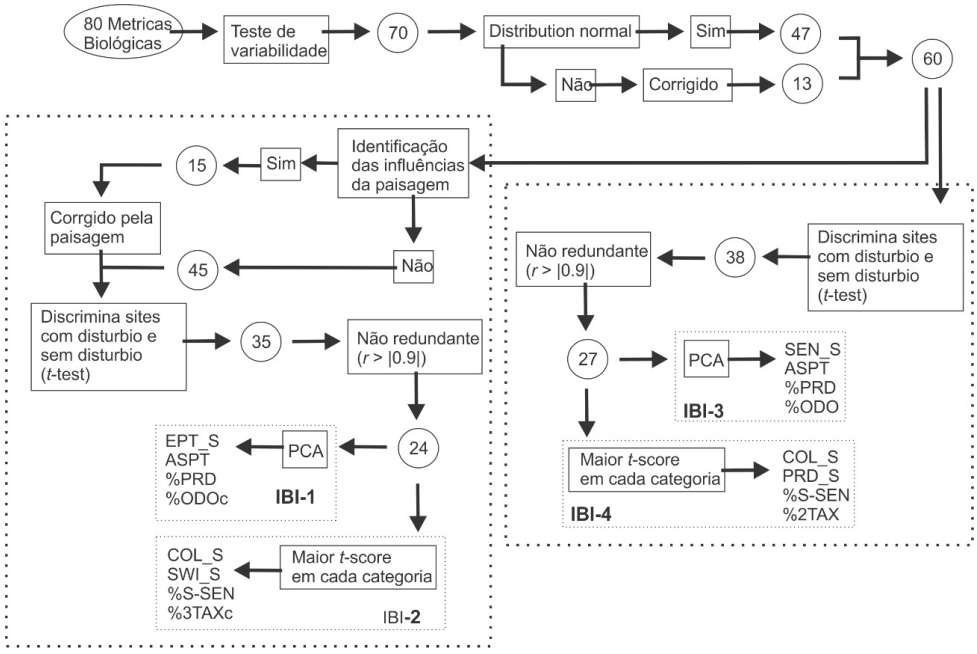

Figura 8. Processo de seleção das métricas para os 4 IBIs propostos. A melhor resposta foi do IBI-1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os riachos das quatro bacias estudadas apresentaram boa qualidade de águas, com diferenças nos valores de condutividade elétrica ($F_{3, 156} = 18,5$, $p < 0,001$) e sólidos totais dissolvidos ($F_{3, 156} = 12,2$, $p < 0,001$) (Tabela 1).

Tabela 1. Média e desvio padrão de variáveis limnológicas de qualidade de água mensuradas e resultados de ANOVA one-way de diferenças entre as quatro bacias estudadas.

	OD (mg/L)	pH	Turbidez (UNT)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	TDS (mg/L)	Temperatura (°C)	N-Total (mg/L)
Bacia Alto Araguari	7.5 (1.2)	6.89 (0.46)	7.6 (10.5)	23.3 (17.7)	15.2 (11.8)	20.3 (1.8)	0.05 (0.01)
Bacia Alto São Francisco	7.7 (2.9)	7.7 (0.5)	8.2 (14.5)	76.1 (92.3)	41.1 (33.5)	17.3 (1.8)	0.24 (0.98)
Bacia Alto Rio Grande	8.4 (3.2)	7.1 (1.8)	5.8 (4.7)	43.6 (29.3)	19.8 (23.9)	20.6 (1.4)	0.11 (0.03)
Bacia Alto Paranaíba	7.6 (1.7)	6.8 (0.5)	6.9 (4.2)	68.7 (51.2)	38.6 (31.54)	19.7 (3.6)	0.10 (0.03)
ANOVA , valor-F	0.41	2.09	0.82	18.52	12.20	3.88	1.72
valor-p	> 0.05	> 0.05	> 0.05	< 0.001	< 0.001	0.01	> 0.05

A avaliação de distúrbios humanos em macro, meso e micro escalas apontaram mínimas alterações em escala temporal (Índice de Distúrbio Integrado-IDI, Índice de Distúrbio no *Buffer*-IDB e Índice de Distúrbio Local-IDL, respectivamente) no reservatório de Nova Ponte, rio Araguari (Figura 3).

Para a avaliação da composição de comunidades bentônicas foram amostrados mais de 300 mil organismos distribuídos em 100 táxons. A família Chironomidae (Diptera, Insecta) foi a mais

abundante, seguida por Elmidae e Simuliidae (Figura 4). Destaque para a família Gripopterygidae em riachos em condições de referência, grupo sensível a perturbações ambientais e bons indicadores de qualidade de água, além de serem potenciais fragmentadores de detritos foliares. Na bacia da UHE de Três Marias foi observada maior riqueza taxonômica, porém com representatividade de organismos tolerantes à poluição, tais como Bivalvia, Oligochaeta e Ceratopogonidae.

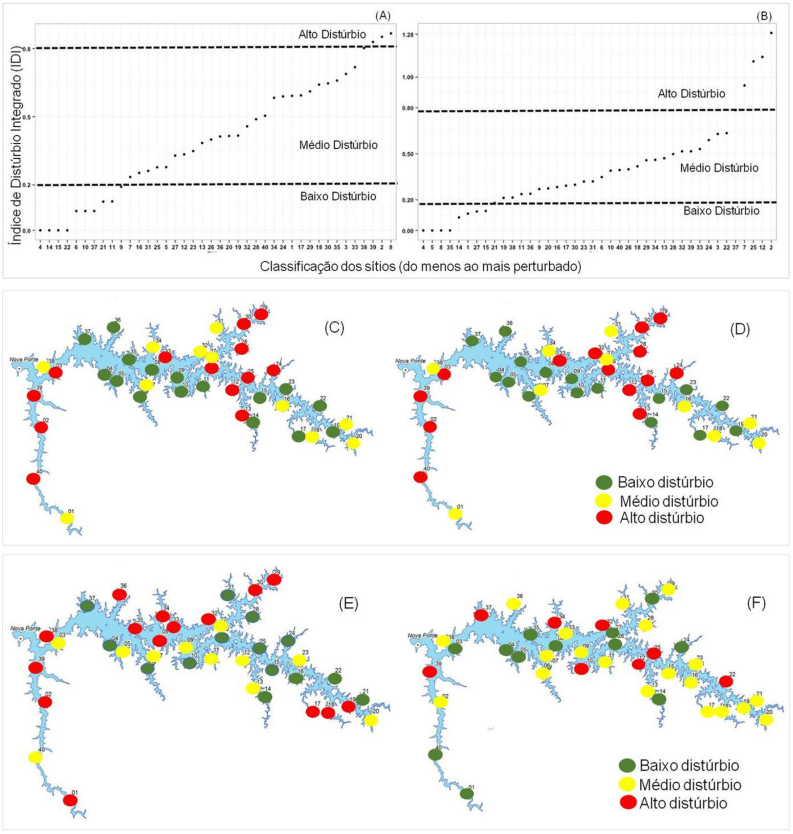

Figura 3: Índices de distúrbio humano em macro (IDI-A,B), meso (IDB-C,D) e micro (IDL-E,F) escalas no reservatório de Nova Ponte, rio Araguari, comparando um ano de pluviosidade média regular (2010-A,C,E) e ano de seca extrema (2014-B,D,F), reservatório UHE Nova Ponte, alto rio Araguari, MG.

Para avaliar as respostas biológicas das comunidades de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água foi utilizada a abordagem de Condições de Referência (CR). As CR são áreas isentas ou com reduzida influência antrópica, e representam o estado ecológico imperturbado ou o melhor cenário possível disponível em uma região. Foram amostrados 31 riachos pertencentes a bacia do rio Araguari, dentro e no entorno do Parque Nacional da Serra da Canastra nos quais 28.631 organismos foram identificados distribuídos em 70 taxa, com predomínio de Chironomidae (10.560), Simuliidae (4.028), Elmidae (3.173), Baetidae (1.460). A presença de indivíduos sensíveis nos riachos foi de 20,8%, 73,3% de indivíduos tolerantes e 5,9% de indivíduos resistentes. Os riachos foram classificados como pertencentes à Classe 1 (Resolução CONAMA357/2005).

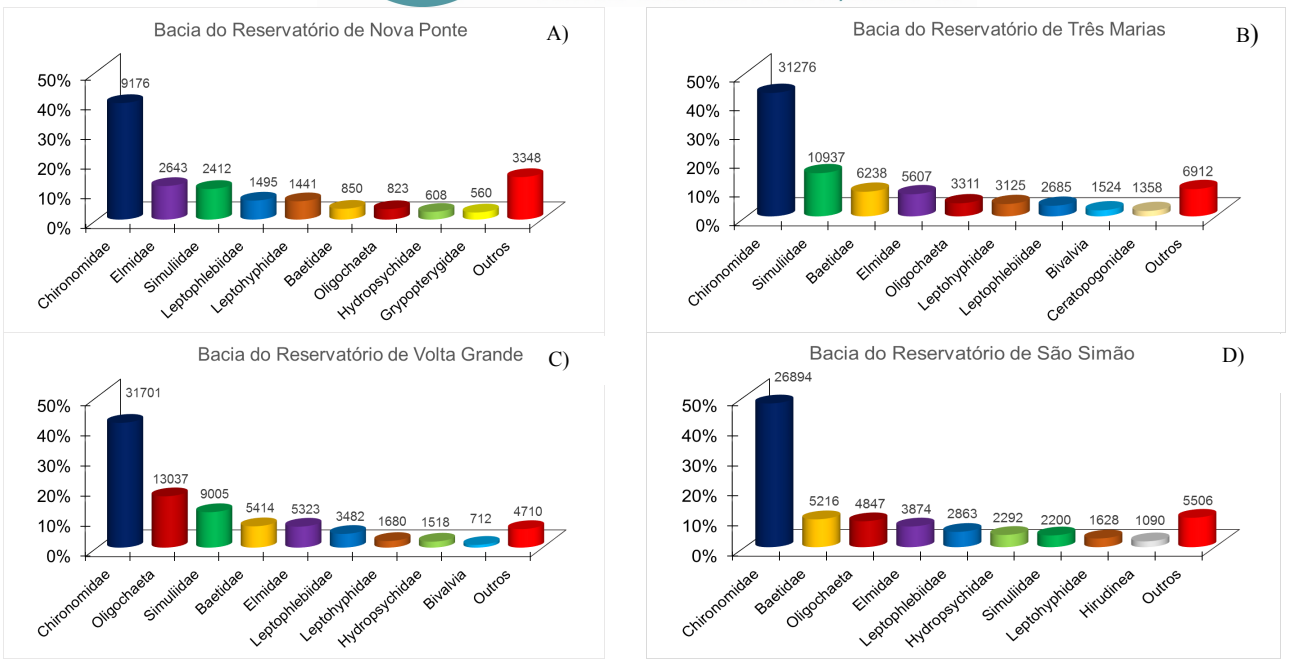

Figura 4: Abundâncias relativa (% indivíduos) e total (valores brutos indicados nas barras) das principais famílias encontradas nos riachos tributários dos reservatórios de Nova Ponte (A), Três Marias (B), Volta Grande (C), São Simão (D).

As assembleias de Ephemeroptera foram sensíveis às alterações ambientais nos tributários da UHE de Nova Ponte (Figura 5). Análise de táxons indicadores [IndVal - Dufrêne e Legendre (1997)] evidenciou gêneros indicadores de riachos em condições menos perturbadas (condições de referência). Os gêneros *Aturbina* e *Cloedoes* (p = 0,02; IndVal = 0,83) e *Farrodes* (p = 0,05; IndVal = 0,80), *Miroculis* (p = 0,02; IndVal = 0,83) e *Ulmeritoides* (p = 0,04; IndVal = 0,80) são organismos sensíveis a alterações humanas na bacia, especialmente agricultura (Ligeiro *et al*., 2013; Macedo *et al*., 2014; Callisto *et al*., 2014).

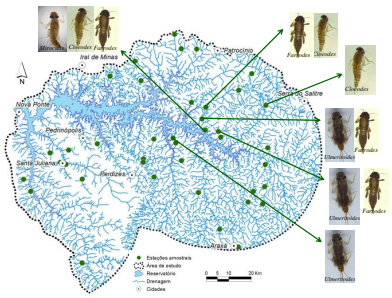

Figura 5. Gêneros indicadores de condições menos perturbadas encontrados nos riachos tributários de Nova Ponte.

Isótopos estáveis têm sido utilizados para avaliar o fluxo de energia e as relações tróficas de macroinvertebrados em ambientes sob diferentes usos do solo. Esta abordagem permite determinar a origem da matéria orgânica, comparar processos ecológicos de zonas ripárias, e identificar os efeitos de alterações antrópicas, como agricultura e desmatamento, nas interações entre a cobertura do solo e os corpos d'água, incluindo as assembleias aquáticas. Em análises preliminares, foi possível observar que houve uma redução na amplitude do nicho trófico e de recursos utilizados por

macroinvertebrados em riachos sob influência antrópica, resultando em comunidades mais generalistas e com maior sobreposição de nichos ecológicos (Figura 6).

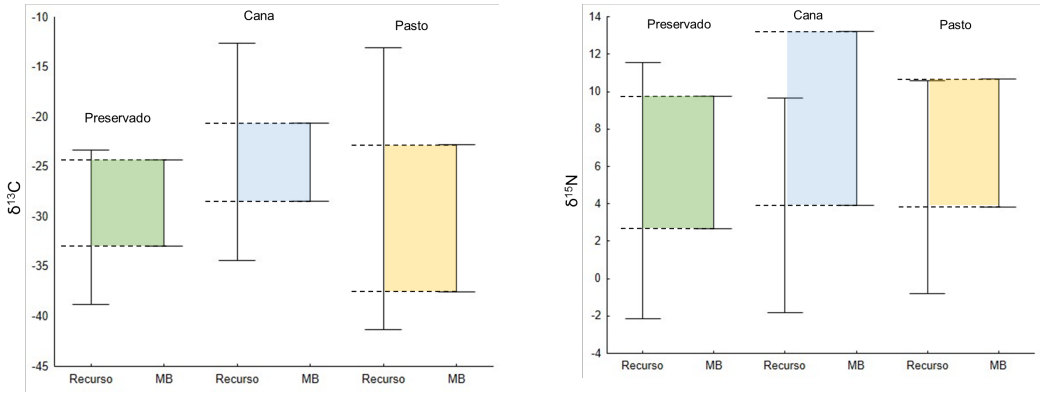

Figura 6 – Amplitude de assinaturas isotópicas de $\delta^{13}C$ (‰) e $\delta^{15}N$ (‰) de macroinvertebrados bentônicos e recursos para cada categoria de uso do solo.

Em uma perspectiva de preservação do entorno dos reservatórios em relação aos processos erosivos, foi elaborado o estudo de fragilidade ambiental baseado na sobreposição entre vulnerabilidades potenciais intrínsecas das regiões de estudo, nos elementos da paisagem natural e pressões antrópicas. Os mapas síntese apresentam as áreas com maior ou menor fragilidade ambiental e poderão subsidiar a implementação de medidas de gestão integrada das bacias hidrográficas para conservação da biodiversidade, incluindo programas de restauração ambiental (Figura 7).

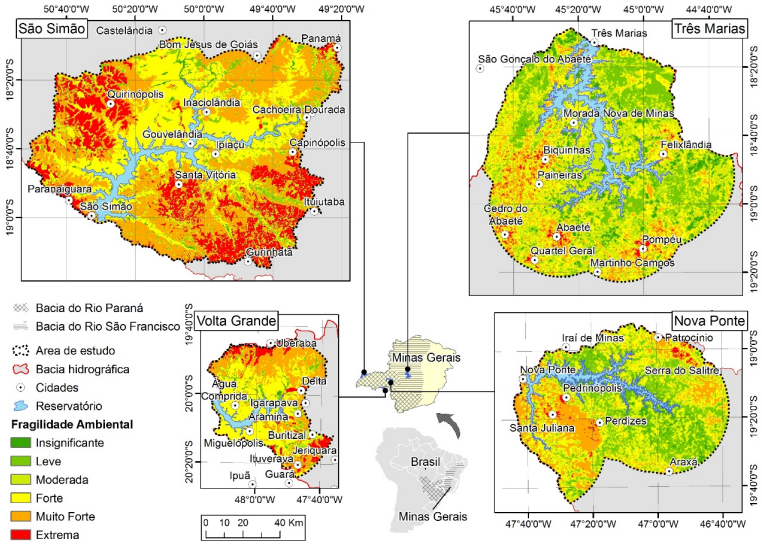

Figura 7: Índice de Fragilidade Ambiental para bacias de empreendimentos hidrelétricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As múltiplas abordagens desenvolvidas neste projeto permitem a avaliação ambiental integrada em várias escalas espaciais nas bacias estudadas, e poderá potencialmente oferecer subsídios para a gestão de bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos, focado na

otimização dos serviços ecossistêmicos oferecidos por empreendimentos hidrelétricos no Brasil. Além disso, os resultados alcançados podem utilizados por Agências de Bacia na gestão de recursos hídricos, permitindo comparações espaciais na escala temporal.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho obteve financiamento da CEMIG-Programa Peixe Vivo, P&D Aneel GT-487 CAPES, CNPq, FAPEMIG e Fulbright Brasil. Colegas da UFMG, UFLA, PUC-Minas e CEFET colaboraram no levantamento dos dados de campo.

REFERÊNCIAS

CALLISTO, M.; ALVES, C.B.M.; LOPES, J.M.; CASTRO, M.A. (2014). *Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos.* Companhia Energética de Minas Gerais, Série Peixe Vivo Belo Horizonte – MG, 261 p.

DUFRÊNE, M.; LEGENDRE, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67, pp. 345-366.

FERREIRA, H.L.M, (Coord). (2012). *Utilização de Índice de Integridade Ecológica para Classificar a Qualidade de Ambientes Aquáticos de Minas Gerais*. Relatório Parcial. Centro de Tecnologia Senai Cetec Belo Horizonte - MG, 36 p.

FERREIRA, W.R.; LIGEIRO, R.; MACEDO, D.R.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; OLIVEIRA, L.G.; CALLISTO, M. (2014). Importance of environmental factors on the richness and distribution of benthic macroinvertebrates in tropical headwater streams. *Freshwater Science* 33, pp. 860-871.

FERREIRA, W.R.; LIGEIRO, R.; MACEDO, D.R.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; OLIVEIRA, L.G.; CALLISTO, M. (2015). Is the diet of a typical shredder related to the physical habitat of headwater stream in the Brazilian Cerrado? *Annales de Limnologie* 51, pp. 115-124..

KARR, J.R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6, pp. 21–27.

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

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. (2014). The relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in Cerrado biome streams. *Landscape Ecology* 29, pp. 1001-1016.

MARTINS, I.; SANCHES, B.; KAUFMANN, P.R.; HUGHES, R.M.; SANTOS, G.B.; MOLOZZI, J.; CALLISTO, M. (2015). Ecological assessment of a southeastern Brazil reservoir. *Biota Neotropica* 15(1), pp. 1-10.

SILVA, D.R.O.; LIGEIRO, R.; HUGHES, R.M.; CALLISTO, M. (2014). Visually determined stream mesohabitats influence benthic macroinvertebrate assessments in headwater streams. *Environmental Monitoring and Assessment* 186, pp. 5478-5488.