EFICIÊNCIA DE PROJETOS DE REABILITAÇÃO DE RIOS URBANOS NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO DO PROGRAMA DRENURBS - BELO HORIZONTE (MG)

Moana Rothe-Neves[1] ; Diego Rodrigues Macedo [2]& Marcos Callisto[1-3]

RESUMO – O Programa DRENURBS foi parte do Plano Diretor de Drenagem Urbana da cidade de Belo Horizonte e contemplou a sub-bacia do Córrego do Onça de 2003 a 2010, onde estão localizam-se os córregos Baleares, Primeiro de Maio e Nossa Senhora da Piedade. O objetivo foi avaliar a eficiência do DRENURBS no processo de reabilitação de três córregos urbanos, comparando o momento imediatamente após a reabilitação (2008) com estado atual (2018), incluindo três outros riachos em condições de referência localizados em parques urbanos. Aplicamos um protocolo de avaliação rápida de habitats físicos, mensuramos parâmetros físicos e químicos na coluna d'água e coletamos bioindicadores bentônicos nos 6 riachos. Com base na análise comparativa dos dados biológicos atuais com os coletados há 10 anos e, também, em comparação às condições de referência, o projeto de reabilitação realizado nos três córregos urbanos resultou em melhoria quanto à qualidade de água, aumento da riqueza de invertebrados bioindicadores, incluindo organismos tolerantes a poluição orgânica.

ABSTRACT - The DRENURBS Program was part of the Urban Drainage Master Plan of the city of Belo Horizonte and included the Córrego do Onça sub-basin from 2003 to 2010, where the Baleares, First of May and Nossa Senhora da Piedade streams are located. The objective was to evaluate the efficiency of DRENURBS in the rehabilitation process of three urban streams, comparing the moment immediately after rehabilitation (2008) with current state (2018), including three other streams in reference conditions located in urban parks. We applied a rapid assessment protocol for physical habitats, measured physical and chemical parameters in the water column, and collected benthic bioindicators in six streams. Based on the comparative analysis of the current biological data with those collected 10 years ago, and also in comparison to the reference conditions, the rehabilitation project carried out in the three urban streams resulted in an improvement in water quality, an increase in the wealth of invertebrates bioindicators , including organisms that tolerate organic pollution.

Palavras-Chave – Qualidade de água, macroinvertebrados bentônicos, Drenurbs

1) Laboratório de Ecologia de Bentos, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Instituto de Ciências Biológicas, UFMG, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte – (31) 3409-2576 , nevesmoana@gmail.com, callistom@ufmg.br
2) Instituto de Geociências, UFMG, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte – (31) 3409-2576 - diegorm@ufmg.br

INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado uma potência hídrica por possuir 12% do total de água doce do mundo e 90% de seus rios serem perenes. No entanto, o mau uso de recursos hídricos tem inviabilizado seu aproveitamento para diversos fins (Vieira, 2013). Em 2001, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte lançou o Programa DRENURBS para se contrapor à realidade de saneamento básico e drenagem urbana em que vivia a capital mineira (Medeiros 2009). Este Programa foi o primeiro resultante do Plano Diretor de Drenagem Urbana em Belo Horizonte – PDDU (PBH, 2010). Seu objetivo foi viabilizar o tratamento integrado dos problemas sanitários, ambientais e sociais nas bacias hidrográficas cujos cursos d'água, embora degradados pela poluição e pela ocupação desordenada de suas margens, ainda conservam seus leitos naturais não canalizados (Macedo *et al*., 2011).

Em padrões internacionais, a reabilitação de corpos d'água em meio urbano é realizada em quatro etapas: (1) levantamento histórico sobre as características naturais do rio a ser recuperado ou a adoção de trechos em condições de referência que, segundo Stoddard *et al*. (1986), são ecossistemas minimamente alterados por ação antrópica (*Least Disturbed Condition* – LDC) e que representem as condições ecológicas o mais próximo possível de um rio natural. (2) levantamento de características fisiográficas incluindo a) tipo de curso d'água (relevo e uso da terra), b) parâmetros hidrológicos (canal, zona ripária, planície de inundação); c) qual será a extensão das intervenções que serão realizadas (trechos, cabeceira, toda a bacia); e d) nível pretendido pela restauração (paisagístico, ecológico, qualidade de água ou seu somatório) (3) levantamento de outros projetos de recuperação, análise de metodologias e identificação do que melhor se aplica tendo em vista as características fisiográficas, o grau de urbanização no entorno do rio e a ocupação do solo e; (4) implementação de intervenções propostas no projeto (Macedo *et al.*, 2011). No Programa DRENURBS, estas etapas foram realizadas durante o período de 2003 a 2010 (PBH, 2010)

Projetos de recuperação e reabilitação de cursos d'água envolvem programas de monitoramento ambiental ou biomonitoramento para avaliação periódica da qualidade desses ecossistemas. A utilização de bioindicadores de qualidade de água permite uma avaliação integrada dos efeitos ecológicos resultantes de impactos ambientais (Moreno & Callisto, 2010). Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do processo de reabilitação de três córregos urbanos utilizando as comunidades de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água, comparando (i) o momento imediatamente após as

intervenções de reabilitação (2008) e o momento atual (2018) e (ii) análise comparativa às condições ecológicas de três córregos em condições de referência localizados em áreas protegidas urbanas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Onça (BHRO) compreende parte dos municípios de Belo Horizonte e Contagem, no estado de Minas Gerais. Pertencente à bacia do Rio das Velhas e principal manancial da capital mineira (ANA, 2010), a BHRO foi contemplada pelo programa DRENURBS em cinco córregos da Região Metropolitana, dos quais três foram objetos de estudo desse trabalho (Figura 1): córrego Baleares, córrego Primeiro de Maio e córrego Nossa Senhora da Piedade. O processo de reabilitação desses três córregos envolveu a construção de parques lineares, com obras de contenção de margens, coleta de esgotos residenciais, gerenciamento de resíduos sólidos, recomposição de mata ripária e reconstrução de leito natural em alguns trechos dos córregos. Esses córregos foram avaliados em coletas trimestrais em 2008 e 2018. Três outros córregos foram utilizados como áreas em condições de referência, localizados no Parque Estadual da Serra do Rola Moça, Parque Municipal das Mangabeiras e Parque Ecológico Burle Marx. Estes córregos também foram amostrados a cada três meses em 2018 (Figura 2).

(A) (B) (C)

Figura 1 – Imagens dos córregos avaliados: Nossa Senhora da Piedade (A). Baleares (B). Primeiro de Maio (C). (Fotos: Diego R. Macedo)

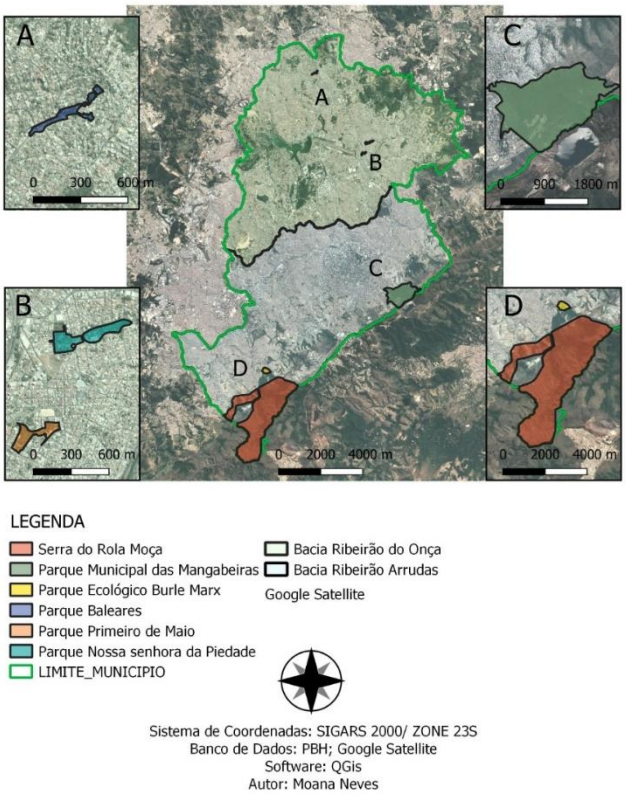

Figura 2 – Mapa da localização dos parques no município de Belo Horizonte, em que A e B contém os córregos revitalizados, C e D os em condições de referência.

Metodologia

Em um trecho de cada córrego foi aplicada uma metodologia que envolve três etapas: (i) aplicação de protocolo de avaliação rápida de condições ecológicas e diversidades de hábitats físicos (Callisto *et al.*, 2002); (ii) mensuração de parâmetros físicos e químicos de qualidade da água, utilizando equipamentos portáteis da marca Digimed - modelos DM 2P (pHmetro) e DM 3P (condutivímetro); e (iii) coleta de assembleias de macroinvertebrados bentônicos com amostrador tipo *Surber* (área de 0.09 m², malha de 250µm) em tréplicas multi-habitats. As amostras foram triadas e identificadas em nível de família, de acordo com chaves taxonômicas de Pérez (1988), Mugnai *et. al.*, (2010) e Neiss e Hamada (2014).

Foram realizados testes T para comparar riqueza e abundância taxonômica [log (x + 1)] nos córregos no momento imediatamente após a reabilitação (2008) e após dez anos das intervenções (2018). Além disso, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) com teste *post-hoc* de Tukey para comparar os valores de riqueza e abundância entre os córregos em 2008, 2018 e os córregos em condições de referência (2018). As avaliações também levaram em consideração os períodos sazonais de seca e chuva. Para testar as diferenças na composição das assembleias entre os rios, uma análise de permutação multivariada de variância (PERMANOVA) foi realizada utilizando o

índice de Jaccard. Por fim, para avaliar a composição das comunidades de macroinvertebrados nos três córregos, foi realizado um escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS). Todas as análises foram realizadas utilizando o pacote vegan (Oksanen *et al*., 2019) no ambiente R (R CoreTeam, 2018).

RESULTADOS

De acordo com os protocolos de avaliação rápida de hábitat físicos, os córregos reabilitados 10 anos após as intervenções foram classificados como alterados, com pontuação média de 45 pontos, o que aponta melhoria em relação à classificação desses córregos em 2008, quando foram classificados como poluídos com média de 34 pontos.

Os rios revitalizados apresentaram, em 2018, valores dos parâmetros físicos e químicos abaixo dos limites máximos previstos na Resolução CONAMA Nº 357/2005 de 2005 do (Tabela 1)

Tabela 1 –valores dos parâmetros físicos e químicos coletados nos na coluna d'água mensurados nos córregos em Condições de Referência (Refe 2018), imediatamente após a revitalização em 2008 (Revi 2008) e 10 anos após, em 2018 (Revi 2018) em comparação aos limites da Resolução CONAMA 357/2005

Parâmetros	**Revi 2008**	**Revi 2018**	**Refe 2018**	**CONAMA 375/2005**
Condutividade (SuS/cm)	266,0	462,0	53.7	
Turbidez (UNT)	68,0	9,0	10,8	100
pH	7,0	6,8	7,1	6 a 9
Temperatura (ºC)	24,0	21,8	19,4	
OD (mg/L)	5,0	5,3	7,4	> 5
STD (mg/L)	789,0	184,2	12,5	500

Foram coletados 1450 invertebrados, identificados em 43 famílias de 10 ordens, além de anelídeos, gastrópodes e ácaros. Nos rios reabilitados foram identificadas 14 famílias de 7 ordens de insetos, além de anelídeos e gastrópodes. Houve diferença significativa entre os valores de riqueza taxonômica ($t = -2,89$, $p = 0,034$) e abundância ($t = -3,31$, $p = 0,021$) apenas na estação seca de 2018. Na estação chuvosa de 2018 e em ambas as estações em que foram realizadas as coletas em 2008 não houve diferença significativa.

Ao comparar métricas biológicas entre as amostragens realizadas em 2008 e 2018, houve diferença significativa dos valores de riqueza ($F_{2,6} = 31,39$, $p = 0,00064$) e abundância ($F_{2,6} = 7,51$, $p = 0,023$) (Figura 3) notadamente entre os rios reabilitados em 2008 e os rios revitalizados em

2018 (p = 0,0010; df = - 2,65) e também entre as amostragens realizadas em revitalizados em 2008 e os rios em condições de referência (p = 0,0381; df = - 154,99).

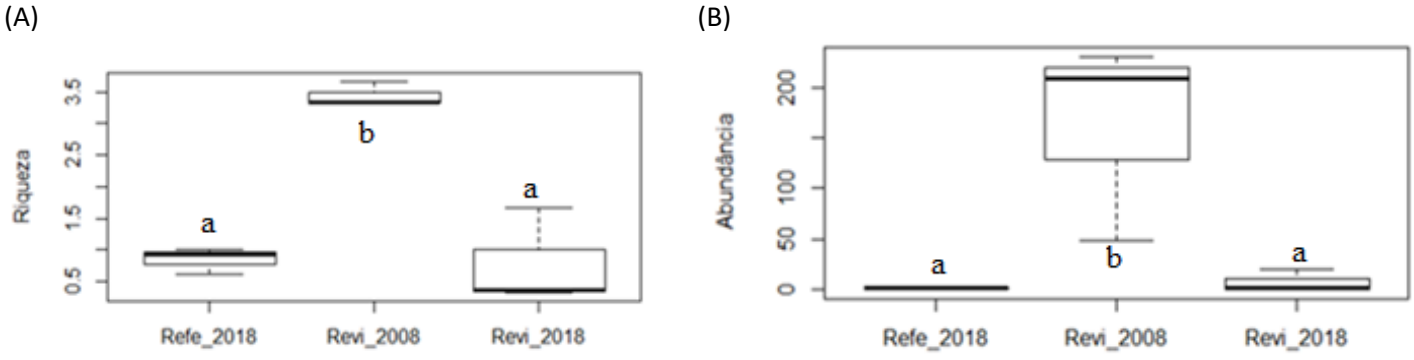

Figura 3 – Resultados da análise de variância (ANOVA) – diferença significativa dos valores de riqueza (A) e abundância (B) entre as amostragens nos rios em Condições de Referência (Refe_2018), imediatamente após a revitalização em 2008 (Revi_2008) e 10 anos após, em 2018 (Revi_2018).

A composição das assembleias de bioindicadores bentônicos nos rios reabilitados sofreu mínimas alterações em 2018. A composição de bioindicadores bentônicos em 2018 foi semelhante à encontrada nos rios em condições de referências (p = 0,001, stress = 0,11) (Figura 4).

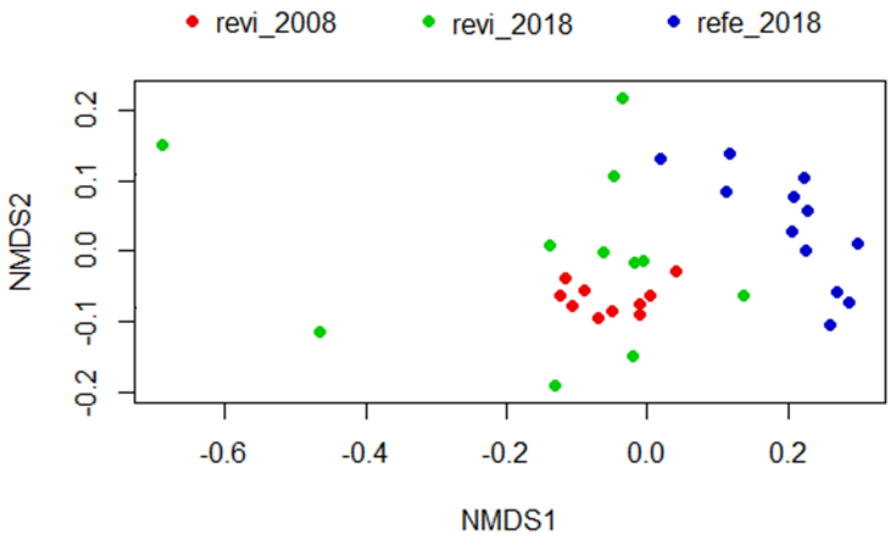

Figura 4 – Escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) - variabilidade na composição taxonômica da comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

Os riachos em condições de referência são similares entre si, assim como os córregos reabilitados em 2008, mas há diferença entre estas duas categorias. Por outro lado, em 2018 os córregos reabilitados apresentaram maiores diferenças quanto à composição taxonômica de macroinvertebrados bentônicos, se comparados a 2008 e assemelhando-se aqueles em condições de referência. A diferença na composição dessas assembleias deveu-se ao aumento da riqueza taxonômica devido à colonização de novos táxons de bioindicadores bentônicos nos córregos revitalizados (Thiaridae, Physidae, Muscidae, Corydalidae, Curcolionidae, Dytiscidae, Elmidae, Coenagrionidae, Megapodagrionidae, Sialidae e Leptophlebiidae, em ordem crescente de sensibilidade à poluição orgânica).

DISCUSSÃO

A composição e estrutura das comunidades de bioindicadores bentônicos evidenciou que a reabilitação dos córregos urbanos em Belo Horizonte no Programa DRENURBS melhorou efetivamente a qualidade ecológica das águas urbanas. A avaliação comparativa de momentos imediatamente após o DRENURBS *versus* uma década após e, complementarmente, a qualidade atual frente a condições de referência de rios protegidos em áreas urbanas caracterizou-se como abordagem ecológica efetiva. As ferramentas de avaliação de integridade de habitats físicos através da aplicação do protocolo de Callisto *et al*. (2002), mensuração de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água e avaliação frente aos limites da norma ambiental vigente (CONAMA 357/2005) e a utilização de bioindicadores bentônicos foram eficientes na avaliação ecológica da reabilitação de rios urbanos em Belo Horizonte.

A maior variação de abundância de macroinvertebrados foi observada nos córregos no momento recém reabilitados (2008), devido ao grande número de indivíduos da família Chironomidae encontrados no córrego Primeiro de Maio, o que não foi registrado no mesmo córrego na amostragem dez anos depois. Estes organismos são comprovadamente resistentes a poluição e vivem em ecossistemas aquáticos com elevados teores de matéria orgânica e baixos teores de oxigênio dissolvido (Morais *et al.*, 2010).

Nos córregos reabilitados em 2018 foram identificadas, 14 famílias (Chironomidae, Muscidae, Simulidae, Culicidae, Dysticidae, Elmidae, Corydalidae, Curcolionidae, Sialidae, Ceratopogonidae, Hydropsychidae, Coenagrionidae, Megapodagrionidae e Leptophlebiidae) de 6 ordens de insetos (Diptera, Coleoptra, Megaloptera, Trichoptera, Odonata e Ephemeroptera), além de anelídeos (Hirudinea e Oligochaeta) e gastrópodes (Physidae e Thiaridae). A mudança na composição e riqueza, taxonômica de invertebrados comparando as amostragens realizadas em 2008 e 2018 evidenciaram o aumento de 8 famílias e 6 ordens. Charbonneau e Resh (1992) também encontraram aumento na riqueza em análises comparativas com dados coletados após quatro anos

da restauração do córrego Strawberry, na Califórnia, evidenciando também melhoria de qualidade ecológica através de monitoramento com bioindicadores.

Os novos grupos encontrados, Coleopta, Megaloptera e Odonata, bioindicadores bentônicos considerados resistentes a alterações ambientais devido à degradação ecológica provenientes de atividades humanas (Ligeiro *et al*. 2014). Comprovadamente sabe-se que toleram menores teores de oxigênio dissolvido, uma vez que parte de seus representantes utilizam o oxigênio atmosférico (Goulart e Callisto, 2003). No entanto, esses organismos indicam melhoria de qualidade de água em relação ao que foi observado antes da restauração, quando apenas Diptera foi registrado (Macedo *et al*., 2011). Também foram encontrados Leptophlebiidae, (Ephemeroptera) e Hydropsychidae (Trichoptera), grupos sensíveis à poluição de águas, intolerantes a contaminação orgânica e que não suportam hipoxia. O aumento de organismos sensíveis também foi encontrado por Suren & McMurtrie (2005) em um estudo sobre restauração de cinco bacias urbanas, em que as bacias com taxas de urbanização superiores a 80% não apresentaram organismos sensíveis, o que ocorreu nas bacias menos urbanizadas.

CONCLUSÃO

Em comparação ao momento imediatamente após a reabilitação (2008), os três córregos apresentaram melhora na qualidade ecológica de suas águas, favorecendo a colonização de bioindicadores bentônicos tolerantes e sensíveis a poluição. Após um período de 10 anos, evidenciamos que o projeto de reabilitação do Programa DRENURBS realizado nos três córregos em Belo Horizonte apresentam recomposição da diversidade de organismos, melhoria de qualidade de água e que, por tanto, estão a caminho do sucesso.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (APQ-01432-17), Projeto de Pesquisa & Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (P&D ANEEL - CEMIG GT-599), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (bolsa IC para MRN, Programa PROBIC), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Código 001). MC é bolsista de produtividade CNPq (Processo Nº 303380/2015-2) e bolsista Pesquisador Mineiro FAPEMIG (PPM 00104-18).

REFERÊNCIAS

ANA - *Agência Nacional de Águas*, Abastecimento urbano de água, 2010.

CALLISTO, M. et al. (2002). *Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ).* Acta Limnologica Brasiliensia, v. 14, n. 1, p. 91-98.

CHARBONNEAU, R.; RESH, V. H. (1992). *Strawberry Creek on the University of California, Berkeley campus: a case history of urban stream restoration*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, v. 2, n. 4, p. 293-307.

DE MEDEIROS, I. H. (2009). *Programa Drenurbs/Nascentes e Fundos de Vale: potencialidades e desafios da gestão sócio-ambiental do território de Belo Horizonte a partir de suas águas*.

ESTEVES, F. A. (1988). *Fundamentos em limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência Ltda.

GOULART, M.; CALLISTO, M. (2003). *Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental*. Revista da FAPAM, ano 2, no 1.

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

LIGEIRO, R.; FERREIRA, W.; CASTRO, D.; FIRMIANO, K. R.; SILVA, D.; CALLISTO, M. (2014). *"Macroinvertebrados bentônicos em riachos de cabeceira: múltiplas abordagens de estudos ecológicos em bacias hidrográficas", in Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos elétricos.* Org. por Callisto, M.; Alves, C. B. M.; Lopes, J. M. e Otoni, A. M., CEMIG, Ed. Série Peixe Vivo, Belo Horizonte – MG, pp. 127 - 159

MACEDO, D. R.; CALLISTO, M.; MAGALHÃES JR, A. P. (2011). *Restauração de cursos d'água em áreas urbanizadas: perspectivas para a realidade brasileira*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 3, p. 127-139.

MORAIS, S.; MOLOZZI, J.; LESSA, A.; VIANA, T. H.; CALLISTO, M. (2010). *Diversity of larvae of littoral Chironomidae (Diptera-Insecta) and their role as bioindicators in urban reservoirs of different trophic levels*. Brazilian Journal of Biology (Impresso), v. 70, p. 995-1004.

MORENO, P.; CALLISTO, M. (2010). *Insetos Aquáticos indicam saúde de cursos d'água*. Scientific American Brasil, v. 99, p. 72-75.

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. (2010). *Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro: para atividades técnicas, de ensino e treinamento em programas de avaliação da qualidade ecológica dos ecossistemas lóticos*. Technical Books Editora.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; ... & WAGNER, H. (2019). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-4. https://CRAN.R-project.org/package=vegan

PBH - PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. (2010). Anexo I - *Política Habitacional do Município de Belo Horizonte no contexto do Plano Municipal de Saneamento*, Secretaria Municipal de Política Urbana, p 51-55.

PÉREZ, G. R. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo Fen Colombia*, Colciencias, Universidad de Antioquia, Bogotá. 217p

R CORE TEAM. (2018). R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

STODDARD, J. L.; LARSEN, D. P.; HAWKINS C. P.; JOHNSON R. K.; NORRIS, R. H. (2006). *Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition*. Ecological Applications 16: 1267–1276.

SUREN, A.M.; MCMURTRIE, S. (2005). *Assessing the effectiveness of enhancement activities in urban streams: II. Responses of invertebrate communities.* River Research and Applications 21:439-453.

VIEIRA, D. C. (2013). *Gestão das águas no brasil: vamos participar*. Mapeamento geo-participativo, participação social e gestão das águas na bacia hidrográfica do ribeirão Onça do estado de Minas Gerais / Lussandra Martins Gianasi, Tarcísio Márcio Magalhães Pinheiro. Instituto Guaicuy. Belo Horizonte. – 40p. il.