

## Avaliação Ecológica Rápida de qualidade de água no rio das Velhas

### Rapid ecological assessment of the water quality of the rio das Velhas

Callisto, Marcos; Macedo, Diego R.; Alves, Carlos B. M.; Golgher, André B.; Agra, Janaina U.; Magalhães, Silvia; Costa, Isabela S.

 **Marcos Callisto** callistom@ufmg.br  
UFMG, Brasil

 **Diego R. Macedo** diegorm@ufmg.br  
UFMG, Brasil

 **Carlos B. M. Alves** cbmalves@ufmg.br  
UFMG, Brasil

 **André B. Golgher** agolgher@gmail.com  
UFMG, Brasil

 **Janaina U. Agra** janaina.agra88@gmail.com  
UFMG, Brasil

 **Silvia Magalhães** silvia.tuca@gmail.com  
RPPN Quinta dos Cedros, Brasil

 **Isabela S. Costa** isabela123@ufmg.br  
UFMG, Brasil

#### Revista Espinhaço

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
ISSN-e: 2317-0611  
Periodicidade: Semestral  
vol. 10, núm. 2, 2021  
revista.espinhaco@gmail.com

Recepção: 14 Novembro 2021  
Aprovação: 18 Novembro 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/485/4852285007/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5722097>

**Resumo:** A bacia do Rio das Velhas vem sendo intensivamente estudada com bioindicadores de qualidade de água nas últimas duas décadas. O objetivo foi avaliar a qualidade ecológica no alto Rio das Velhas (São Bartolomeu, Ouro Preto, MG), utilizando abordagem de Avaliação Ecológica Rápida. Buscamos responder: (i) A qualidade das águas do rio das Velhas é alterada por lançamento de efluentes urbanos no Distrito de São Bartolomeu? (ii) Houve perda de qualidade de água ao longo do tempo, comparando o biomonitoramento histórico com as condições atuais? Avaliamos três sítios amostrais: P1 (referência), P2 (dentro do distrito), P3 (jusante efluentes da Estação de Tratamento). Utilizamos um Protocolo de Avaliação Rápida de Diversidade de Hábitats e Integridade de Zonas Ripárias, mensuramos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos na coluna d'água e calculamos o Índice de Qualidade de Água. Foram amostrados macroinvertebrados bentônicos e peixes como bioindicadores. Em comparação à média histórica, houve aumento das concentrações de N-total e P-total e redução de sólidos totais dissolvidos, turbidez e condutividade elétrica. Os bioindicadores evidenciaram perda de qualidade ambiental, redução do índice de diversidade em P2 e P3, menor percentual de sensíveis e tolerantes, maior abundância de organismos resistentes à poluição. Observamos aumento de vinte vezes nas concentrações de bactérias *Escherichia coli* em P2 e P3, evidenciando risco sanitário às populações ribeirinhas. Recomendamos que seja aprimorada a eficiência da Estação de Tratamento e que não sejam lançados esgotos domésticos no Rio das Velhas. Reforçamos a importância da conservação do leito natural, conservando a diversidade de habitats e mata ripária. Sugerimos a intensificação de campanhas de sensibilização ambiental, a implementação de campanhas de reflorestamento da mata ripária e a realização de um Programa de Biomonitoramento de longo prazo com atividades de Educação Ambiental e ciência cidadã com moradores, turistas, professores, jovens e crianças em fase escolar.

**Palavras-chave:** qualidade ecológica, qualidade de água, biodiversidade aquática, conservação de biodiversidade, bioindicadores de qualidade de água.

**Abstract:** The das Velhas river basin has been intensively studied with water quality bioindicators in the last two decades. The objective was to evaluate the ecological quality in the

upper das Velhas river (São Bartolomeu, Ouro Preto, MG), using the Rapid Ecological Assessment approach. We seek to answer: (i) Is the water quality of the das Velhas river altered by the release of urban effluents in the District of São Bartolomeu? (ii) Has there been a loss of water quality over time, comparing historical biomonitoring with current conditions? We evaluated three sample sites: P1 (reference), P2 (within the district), P3 (downstream from the Treatment Plant). We used a Rapid Assessment Protocol for Habitat Diversity and Riparian Zone Integrity, measured physical, chemical and bacteriological parameters in the water column and calculated a Water Quality Index. Benthic macroinvertebrates and fish were sampled as bioindicators. Compared to the historical average, there was an increase in total-N and total-P concentrations and a reduction in total dissolved solids, turbidity and electrical conductivity. The bioindicators showed a loss of environmental quality, a reduction in the diversity index in P2 and P3, a lower percentage of sensitive and tolerant organisms, greater abundance of pollution-resistant organisms. We observed a twenty-fold increase in the concentrations of *Escherichia coli* bacteria in P2 and P3, evidencing a health risk for riverside populations. We recommend that the efficiency of the Treatment Plant be improved and that no domestic sewage is released into the das Velhas river. We reinforce the importance of conserving the natural streambed, conserving the diversity of habitats and riparian vegetation. We suggest intensifying environmental awareness campaigns, implementing riparian forest reforestation campaigns and carrying out a long-term Biomonitoring Program with Environmental Education and citizen science activities with residents, tourists, teachers, young people and schoolchildren.

**Keywords:** ecological quality, water quality, aquatic biodiversity, biodiversity conservation, water quality bioindicators.

## 1. Introdução

O manejo sustentável de recursos hídricos provém múltiplos benefícios e serviços ecossistêmicos para populações humanas, com destaque para a manutenção da integridade biológica de comunidades de organismos aquáticos (Silva et al., 2017). Entretanto, a crescente demanda por água para múltiplos usos urbanos e perturbações antrópicas têm causado a degradação de ecossistemas aquáticos. Como consequência, a biodiversidade aquática vem sofrendo um rápido declínio devido à perda de habitats, poluição das águas, mudanças nos usos do solo, invasões por espécies exóticas, mudanças no fluxo natural dos rios e mudanças climáticas globais (Feio et al., 2015). Distúrbios antropogênicos são particularmente severos em regiões tropicais, a exemplo da coleta e tratamento deficientes de esgotos domésticos, gestão ineficiente de resíduos sólidos, a captação excessiva de água, e a substituição da vegetação nativa por pastagens, plantações e áreas de mineração (Callisto et al., 2019a; Feio et al., 2015; Garuana et al., 2020; Silva et al., 2017). Particularmente no Brasil, importantes bacias hidrográficas como as dos rios Doce, São Francisco, Piracicaba e Paraopeba, têm sofrido múltiplos impactos devido a esses fatores (Garuana et al., 2020).

Programas de monitoramento de qualidade de águas podem subsidiar a proposição de soluções efetivas para mitigar distúrbios antropogênicos em bacias hidrográficas. Além disso, deve-se ter em mente a importância de avaliar não só aspectos físicos e químicos na água, bem como o habitat físico e as condições biológicas (França et al., 2019; Feio et al., 2021). Assim, avaliações de qualidade de água e medidas de restauração de córregos e rios devem levar em conta diferentes aspectos do ecossistema, tais como qualidade de água, transporte de sedimentos e água, morfologia e dinâmica do canal, regime hidrológico, e composição de espécies de fauna e flora aquáticas e da zona ripária (Feio et al., 2015; Wantzen et al., 2019; Feio et al., 2021). Além disso, o estudo e a restauração de córregos e rios devem integrar, sempre que possível, valores ecológicos, econômicos e sociais, para que os serviços ecossistêmicos de ecossistemas aquáticos urbanos sejam mantidos no longo prazo (Callisto et al., 2019a), caracterizando uma perspectiva multidisciplinar Humboldtiana, para conservação e manejo de bacias hidrográficas (Callisto et al., 2019b).

O rio das Velhas atualmente é um dos principais mananciais de abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte (3ª maior metrópole do país). A bacia vem sendo intensivamente estudada nas últimas duas décadas através da utilização de bioindicadores de qualidade de água. Garuana et al. (2020), por exemplo, analisaram indicadores físicos e químicos na água e assembleias de macroinvertebrados bentônicos em microbacias urbanas na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e os associaram a indicadores de saúde humana, tais como taxa de mortalidade infantil e internação por diarreia na bacia hidrográfica do rio das Velhas (MG). Callisto et al. (2019a) analisaram a bacia do Rio das Velhas associando dados físicos e químicos na água, classes de cobertura de solo e dados do Censo Demográfico e os relacionaram com bioindicadores bentônicos. França et al. (2019) analisaram indicadores de habitat físico, as condições físicas e químicas da água e bioindicadores bentônicos para investigar a relevância do monitoramento em ciência cidadã na avaliação e monitoramento de condições ecológicas de córregos urbanos em Belo Horizonte e região metropolitana. Macedo et al. (2011), Silveira et al. (2019) e Rothe-Neves et al. (2019) analisaram a reabilitação de córregos urbanos utilizando abordagens geográficas, ecológicas e censo sócio-ambiental, também na região Metropolitana de Belo Horizonte. Agra et al. (2015, 2019) avaliaram córregos em condições de referência nas cabeceiras do rio das Velhas e propuseram protocolos de caracterização ecológica, identificando assembleias de bioindicadores bentônicos de qualidade de água. Feio et al. (2015) compararam sítios em condições de referência e sítios perturbados na bacia do Rio das Velhas utilizando índices multimétricos bentônicos (Ferreira et al. 2011, 2012), sintetizando os dados do Programa de Biomonitoramento do Projeto Manuelzão/UFMG.

O objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade ecológica de um trecho no alto do rio das Velhas em São Bartolomeu (distrito de Ouro Preto, MG) utilizando a abordagem de Avaliação Ecológica Rápida (Callisto et al., 2002). Buscamos responder às perguntas: (i) A qualidade das águas do rio das Velhas é alterada por lançamento de efluentes urbanos na região do distrito de São Bartolomeu? (ii) Houve perda de qualidade de água ao longo do tempo, comparando o biomonitoramento histórico e as condições atuais? Para responder a essas perguntas, utilizamos metodologias padronizadas de coleta implementadas pelo

Programa de Biomonitoramento da Bacia do Rio das Velhas pelo Projeto Manuelzão/UFMG (2003 a 2011), e comparamos os dados de parâmetros físicos, químicos e biológicos atuais com a média histórica desse período.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

As amostragens em campo foram realizadas no trecho alto do Rio das Velhas no distrito de São Bartolomeu (município de Ouro Preto, Minas Gerais) (Figura 1). O distrito de São Bartolomeu está inserido na Unidade de Conservação denominada Área de Proteção Ambiental Cachoeira das Andorinhas (APA Cachoeira das Andorinhas). A APA possui 18,7 mil hectares e que tem por objetivo principal a proteção de nascentes e riachos no trecho alto da bacia do Rio das Velhas. A região está inserida no bioma Mata Atlântica, que é considerado um 'hotspot' terrestre de biodiversidade (Myers et al., 2000), sendo a fitofisionomia predominante na área de estudo a floresta estacional semidecidual. O clima da região é caracterizado por invernos secos, com temperaturas médias entre 13,5°C e 15,5°C (junho a agosto) e verões chuvosos com temperaturas médias entre 20°C e 21°C (novembro a janeiro). Ao longo do ano a precipitação varia entre a mínima de 1.300 mm e máxima de 1.900 mm (INMET, 2021).

Para avaliar o potencial impacto de efluentes urbanos no distrito de São Bartolomeu, definimos três sítios amostrais, nomeados P1, P2 e P3 (ver Figura 1). P1 (20° 18' 47,2" S; 43° 34' 29,8" O) foi considerado como o sítio de referência, ou em melhor condição ecológica possível na região, pois está localizado a montante da área urbana do distrito de São Bartolomeu e por não receber influência da urbanização (Figuras 2A e 2B). O sítio P2 (20° 18' 42,1" S; 43° 34' 45,1" O) localiza-se na zona urbana do distrito, a montante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de São Bartolomeu (Figuras 2C e 2D). O sítio P3 está localizado a jusante da ETE de São Bartolomeu (20° 18' 40,3" S; 43° 34' 49,9" O) (Figuras 2E e 2F). No detalhe (Figura 2G), o ponto exato de saída da tubulação de lançamento do efluente tratado na ETE no rio das Velhas. As coletas ocorreram em junho de 2021.

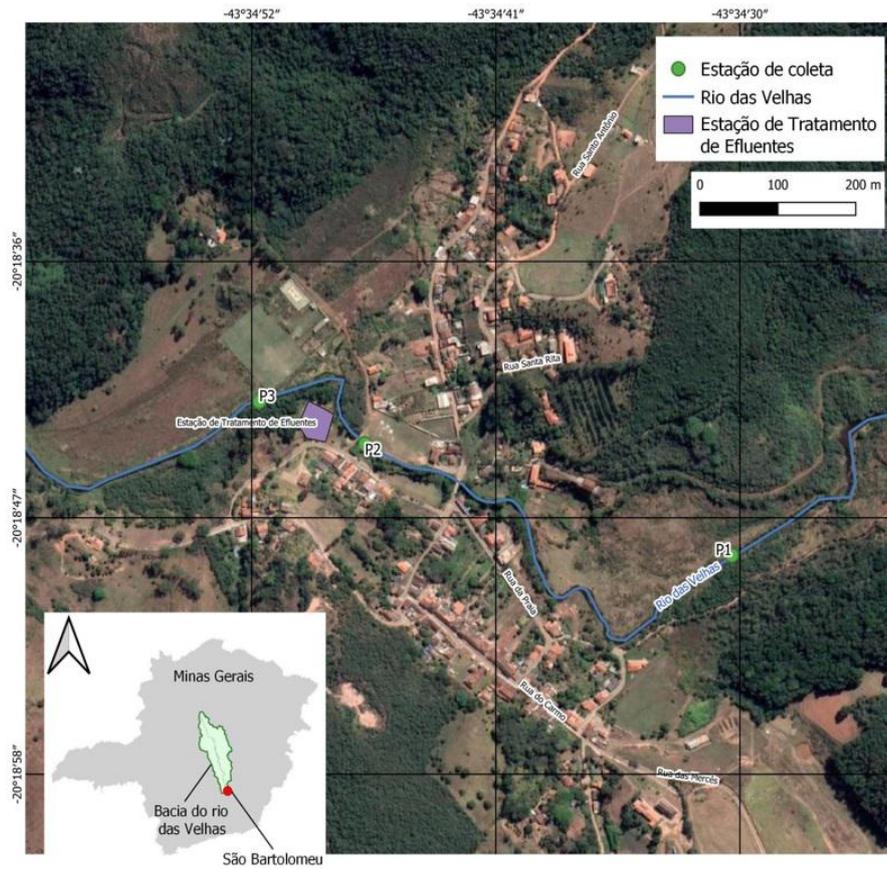


Figura 1. Sítios amostrais P1, P2 e P3, localizados no distrito de São Bartolomeu  
Elaborado pelos autores



Figura 2. (A) Sítio P1, visão para jusante; (B) Sítio P1, visão para montante; (C) Sítio P2, visão para jusante; (D) Sítio P2, visão para montante; (E) Sítio P3, visão para jusante; (F) Sítio P3, visão para montante; (G) Local de lançamento do efluente tratado pela Estação de Tratamento de Esgoto Saneouro, no distrito de São Bartolomeu (Ouro Preto, MG).

Elaborado pelos autores.

## 2.2 Amostragens em campo

### 2.2.1 Protocolo Avaliação Rápida de Diversidade de Hábitats e Integridade de Zonas Ripárias

Para avaliar os habitats físicos e a integridade da zona ripária, nós aplicamos o protocolo de avaliação rápida de Callisto et al. (2002). Esse protocolo possibilita uma avaliação ecológica rápida por meio de observações visuais, que são pontuadas e somadas, fornecendo um valor total final para o local analisado e vem sendo amplamente utilizado em estudos no rio das Velhas (França et al., 2019, Feio et al., 2015, Ferreira et al., 2011, 2012, Macedo et al., 2011).

O protocolo de Callisto et al. (2002) avalia 22 parâmetros, sendo 10 pontuados de 0 a 4, e os demais, pontuados de 0 a 5, sendo atribuídos maiores valores à menor

influência por atividades antrópicas. O somatório dos dois quadros (Tabela 1) resulta em valores entre 0 e 100, sendo que valores de 0 a 40 representam trechos impactados, valores de 41 a 60 representam trechos alterados, e valores acima de 60 representam trechos em condições de referência (Callisto et al., 2002).

### 2.2.2 Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de qualidade de água

Nós mensuramos in situ os parâmetros físicos e químicos de qualidade de água, que incluem temperatura (oC), oxigênio dissolvido (mg/L e % saturação) (YSI), pH, potencial oxi-redox (Digimed DM-2P), turbidez (Digimed DM-TU), condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), salinidade e resistividade (Digimed DM-3P).

Em laboratório foram determinados os teores de nutrientes totais e dissolvidos na água: P-total (mg/L), N-total (mg/L), nitrato (mg/L), nitrito (mg/L) e o cálculo da demanda bioquímica de oxigênio (mg/L). As análises seguiram a metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) e foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos do Departamento de Geografia no Instituto de Geociências/UFMG. Adicionalmente foram coletadas amostras de água para a mensuração de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) na medida de número mais provável por 100 mililitros (NMP/100 mL). A identificação foi realizada pelo teste Colilert, aprovado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (US-EPA) e amplamente utilizado no Brasil. As análises bacteriológicas foram realizadas no Departamento de Microbiologia do Instituto de Ciências Biológicas/UFMG. Adicionalmente, nós calculamos o índice de qualidade das águas – IQA, segundo a metodologia utilizada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2017). Este índice é internacionalmente utilizado para avaliar a qualidade de água bruta, sobretudo o uso para abastecimento público, após tratamento (Klamt et al., 2021).

Para realizar uma comparação temporal, nós utilizamos os dados históricos de temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade, fósforo total, nitrogênio total, riqueza e abundância de macroinvertebrados bentônicos, obtidos por nós no Programa de Biomonitoramento do Projeto Manuelzão/UFMG (período de 2003 a 2011). As mensurações desses parâmetros seguem as mesmas metodologias aplicadas no presente estudo, e referem-se às amostragens realizadas no sítio amostral P2, durante o período da estação seca. Nós calculamos valores médios dos parâmetros físicos, químicos e biológicos para fins comparativos.

### 2.2.3 Bioindicadores bentônicos de qualidade de água

Nós coletamos três sub-amostras de sedimento com um amostrador do tipo Surber (0,09m<sup>2</sup>) em cada um dos três sítios amostrais, sendo uma sub-amostra em substrato de seixos/cascalhos, outra em sedimentos finos (areias e siltes) e uma terceira sub-amostra em depósitos de folhas submersas. As sub-amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e fixadas com álcool 70%. Em laboratório, nós lavamos as sub-amostras, triamos os macroinvertebrados bentônicos e realizamos

a identificação até o nível taxonômico de família, exceto para os indivíduos da subordem Hydracarina, da classe Bivalvia e subclasse Oligochaeta. Os organismos foram identificados sob lupa, utilizando chaves taxonômicas específicas (Costa et al., 2006; Fernández e Domínguez, 2001; Merritt et al., 2008; Mugnai et al., 2010).

Os indivíduos, identificados em cada uma das sub-amostras coletadas em um mesmo sítio de coleta, foram somados para o cálculo de métricas biológicas. Foram estimadas a riqueza (número total de táxons identificados), a abundância de indivíduos, o índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) e o índice de diversidade de Simpson ( $D$ ) para cada sítio amostral. O índice de Shannon varia de zero ao  $\infty$ , sendo que quanto maior o seu valor mais diverso é o local. O índice de Simpson varia de zero a 1, e quanto mais próximo de 1 mais diverso é o local amostrado (Magurran, 2013).

Os macroinvertebrados bentônicos foram classificados em sensíveis, tolerantes e resistentes às perturbações antrópicas (França e Callisto, 2019). Para cada táxon foi atribuída uma pontuação com base no nível de sensibilidade do táxon frente a distúrbios antrópicos de acordo com tabela proposta por Junqueira et al. (1998; 2000; 2018). A pontuação varia de 1 a 10, e quanto maior é a pontuação maior a sensibilidade do táxon aos distúrbios.

A partir das pontuações nós calculamos cinco índices biológicos para cada sítio amostral, sendo eles a abundância relativa (%) dos táxons sensíveis, tolerantes e resistentes, os índices BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) e BMWP-ASPT (Average Score per Taxon). O índice BMWP consiste na somatória desta pontuação, enquanto o BMWP-ASPT é obtido pela razão do valor de BMWP pelo número de famílias pontuadas em cada sítio de coleta. De acordo com Junqueira et al. (2000), a classificação de qualidade de águas está delimitada por faixas de valores do índice BMWP, onde valores  $> 81$  indicam uma condição “excelente”, entre 80-61 “boa”, entre 60-41 “regular”, 40-26 “ruim” e  $< 25$  é considerada “péssima”. Locais onde o somatório de escores de BMWP-ASPT for maior que 6, a qualidade da água é considerada como “muito boa”, entre 6-5 “boa”, entre 4,9-3,9 “regular”, entre 2,5-3,8 “ruim” e valores menores que 2,5 classificam a qualidade das águas como “péssima”.

Para determinar o funcionamento do ecossistema, os táxons foram classificados em cinco Grupos Funcionais, de acordo com a principal forma como adquirem sua fonte de alimento (Cummins et al., 2005; Merritt et al., 2008; Ramírez e Gutiérrez-Fonseca, 2014): coletores-catadores, coletores-filtradores, fragmentadores, raspadores ou predadores. Os coletores-catadores alimentam-se principalmente de depósitos de matéria orgânica particulada fina (FPOM). Os coletores-filtradores filtram a FPOM na coluna d'água (coletores-filtradores). Os fragmentadores são aqueles que quebram a matéria orgânica particulada grossa (CPOM). Os raspadores são capazes de raspar o perífiton de superfícies duras no fundo de rios. Enquanto os predadores alimentam-se de outros animais.

Baseado na composição de grupos tróficos funcionais, foram calculados três índices que avaliam a condição funcional das assembleias de macroinvertebrados bentônicos em cada sítio amostral (Cummins et al. 2005): (a) um proxy para a quantidade de matéria orgânica particulada fina (FPOM) transportada na coluna d'água, calculada como a proporção de coletores-filtradores sobre coletores-catadores (C-F/CC); (b) um proxy para a quantidade de matéria

orgânica particulada grossa (CPOM) disponível, calculada como a proporção de fragmentadores sobre a de coletores-filtradores e catadores ( $F/CF+CC$ ); (c) um *proxy* para a estabilidade de substrato, estimado como a proporção de raspadores e coletores-filtradores sobre a proporção de fragmentadores e coletores-catadores ( $R+CF/F+CC$ ).

#### 2.2.4 Peixes como bioindicadores

Para a coleta dos peixes foi empregada uma peneira (forma de D) de tela mosquiteira (malha de 1mm), utilizada em cada um dos três trechos demarcados, por 15 minutos, envolvendo duas pessoas. Foram coletados peixes junto à vegetação marginal, nos barrancos escavados e no leito, envolvendo pedras e cascalho contra a correnteza.

Os peixes coletados foram acondicionados em sacos plásticos, rotulados com o nome do sítio de coleta e data da amostragem, e mantidos em bombona plástica com solução de formol 10%. Foi realizado o registro fotográfico das espécies em laboratório. Após o período de uma semana, os peixes foram retirados da solução de formol, lavados, pesados, medidos e identificados ao nível de espécie (Britski et al., 1986; Langeani, 1990; Buckup, 1992; Lütken, 2010; Terán et al., 2020). Em seguida, foram mantidos em solução de álcool etílico 70%, no Laboratório Nuvelhas do Projeto Manuelzão/UFGM.

### 3. Resultados

#### 3.1 Protocolo de Avaliação Rápida de Diversidade de Hábitats e Integridade de Zonas Ripárias

As características físicas do habitat em P1, P2 e P3 apresentaram pontuação acumulada de 78, 43 e 60, respectivamente (Tabela 1). Portanto, P1 foi diagnosticado como em condição de referência, enquanto P2 e P3 estão em condição alterada. Os parâmetros relacionados a alterações por distúrbios antrópicos foram aqueles que mais afetaram os baixos valores observados em P2 e P3.

Os resultados de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água foram semelhantes nos três sítios de coleta (Tabela 2), exceto para os valores de potencial oxi-redox e turbidez na água, que apresentaram alta variação entre os sítios. O cálculo do IQA resultou em valores classificados na faixa "boa" (71-90) de acordo com o IGAM (82,0; 71,1 e 71,5, respectivamente) para todos os sítios de coleta. A concentração de coliformes termotolerantes indica que P1 apresenta uma qualidade de água excelente quanto à balneabilidade (< 200 NMP/100mL; Brasil, 2000), enquanto os demais sítios amostrais estão classificados como não satisfatórios para esta finalidade, mas os valores ainda enquadram-se dentro do limite legal considerado próprio para a balneabilidade (< 2000, NMP/100ml; Brasil, 2000) (Figura 3).

Tabela 1. Características físicas do habitat nos três sítios amostrais no Rio das Velhas em São Bartolomeu (MG), junho de 2021.

Parâmetros	Sítios Amostrais		
	P1	P2	P3
Tipo de ocupação das margens do corpo d'água	2	0	2
Erosão próxima e/ou nas margens do rio, assoreamento seu leito	2	1	2
Alterações antrópicas	4	2	2
Cobertura vegetal no leito	4	0	4
Odor da água	4	4	2
Oleosidade da água	4	4	4
Transparência da água	4	2	2
Odor do sedimento	4	4	3
Oleosidade do fundo	4	4	3
Tipo de fundo	4	2	4
Tipos de fundo (habitats)	5	2	2
Extensão de rápidos	3	2	3
Frequência de rápidos	3	2	5
Tipos de substratos	3	0	1
Deposição de lama	5	2	3
Depósitos sedimentares	5	2	2
Alterações no canal do rio	5	3	5
Características do fluxo de água	5	5	4
Presença de mata ciliar	2	0	2
Estabilidade das margens	3	2	3
Extensão de mata ciliar	0	0	2
Presença de plantas aquáticas	3	0	0
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>43</b>	<b>60</b>
<b>Resultado</b>	<b>referência</b>	<b>alterado</b>	<b>alterado</b>

Fonte: elaboração própria

Tabela 2. Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos de qualidade de água nos três sítios amostrais no Rio das Velhas em São Bartolomeu (MG), junho de 2021 e valores médios (sítio P2) da série histórica (Projeto Manuelzão/UFMG) no período de seca, de 2003 a 2011.

Parâmetros abióticos	P1	P2	P3	Média
Temperatura (°C)	13,4	13,4	14,7	16,5
pH	7,95	7,02	7,82	8,04
OD (mg/L)	12,6	12,5	12,3	7,7
OD (%)	134	136	136	-
Potencial oxi-redox (mV)	67	113	35	-
Turbidez (UNT)	1,49	5,52	2,56	6,72
Sólidos Totais Dissolvidos (ppm ou mg/L)	7,32	7,47	8,29	31,04
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	28,9	29,1	30,5	27,9
Resistividade ( $\text{K}\Omega \times \text{cm}^{-1}$ )	35,8	35,4	33,6	-
Salinidade (ppt)	0,0	0,0	0,0	-
DBO (mg/L)	0,4	0,3	0,35	-
P-total (mg/L)	0,033	0,038	0,038	0,020
N-total (mg/L)	2,52	1,68	1,96	0,32
Nitrito (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	-
Nitrato (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	-
<i>Escherichia coli</i> (NMP/mL)	81,3	1732,9	1732,9	-
Índice de Qualidade das Águas (IQA)	82,0	75,1	75,1	-

Fonte: elaboração própria

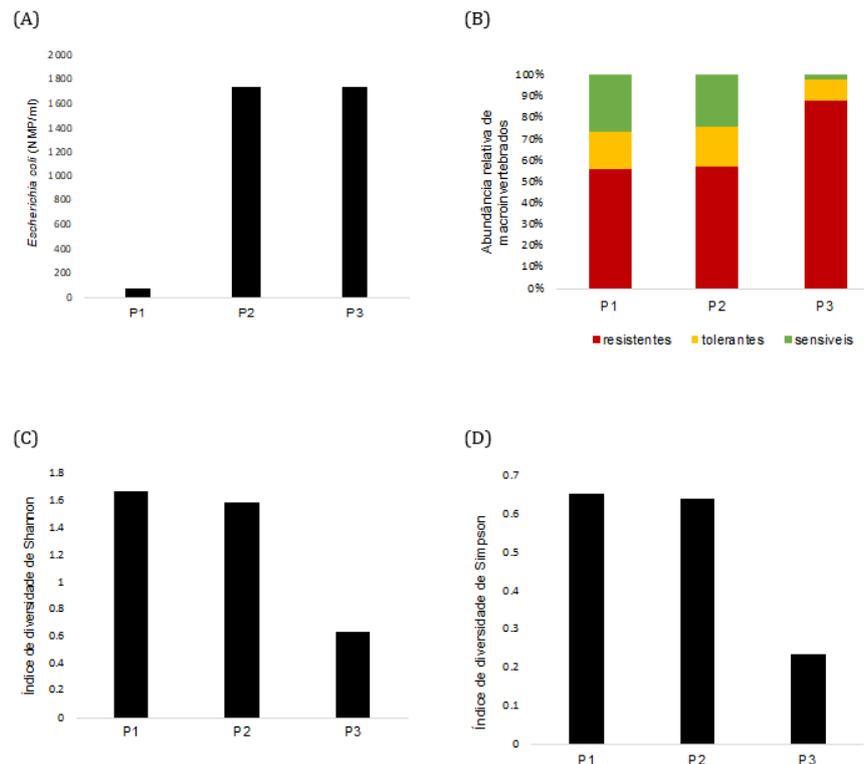


Figura 3. Destaque de dados bióticos coletados no rio das Velhas em três sítios de coleta no distrito de São Bartolomeu (Ouro Preto-MG), em junho de 2021. P1 – em condições de referência, a montante do distrito. P2 – na zona urbana, a montante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de São Bartolomeu. P3 – localizado a jusante da ETE de São Bartolomeu. (A): Concentração de bactérias *Escherichia coli* (NMP/100 ml). (B): Abundância relativa de macroinvertebrados bioindicadores de qualidade de água, resistentes, tolerantes e sensíveis a distúrbios humanos. (C): Valores do índice de diversidade de Shannon para a comunidade de macroinvertebrados bentônicos. (D): Valores de índice de diversidade de Simpson para a comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

Fonte: elaboração própria

### 3.2 Bioindicadores Bentônicos

Foram coletados 4509 macroinvertebrados bentônicos, classificados em 31 famílias de insetos aquáticos, além de Oligochaeta, Hydrudinea e moluscos (Apêndice 1). Os resultados do inventário de macroinvertebrados bentônicos evidenciou riqueza taxonômica similar entre os três sítios de coleta. No entanto, a composição taxonômica e a densidade de indivíduos em P3 foi marcadamente diferente dos outros sítios de coleta devido ao elevado número de indivíduos da família Chironomidae (2967), Simuliidae (178), a classe Bivalvia (24) e ocorrência de moluscos da família Planorbidae (potencial hospedeiro intermediário do agente da esquistossomose humana). Os índices de diversidade de Shannon e Simpson também apontam perda significativa da diversidade taxonômica em P3 quando comparada com os outros sítios de coleta (Tabela 3).

A avaliação de táxons sensíveis, tolerantes e resistentes evidenciou valores semelhantes em P1 e P2 (Tabela 4). No entanto, em P3 foram observados menores percentuais de organismos sensíveis e tolerantes e predomínio de

resistentes (Figura 3B). Os resultados dos índices BMWP e ASPT não evidenciaram diferenças entre os três sítios de amostragem. Em todos os sítios de coleta a água foi considerada como “excelente” para a faixa de classificação do índice BMWP e “muito boa” para a faixa do índice BMWP-ASPT.

A estimativa das abundâncias relativas de grupos tróficos funcionais evidenciou que os coletores-catadores são maioria nos três sítios amostrais, com valores crescentes entre P1, P2 e P3. Além disso, P3 difere dos demais pela maior proporção de coletores-filtradores, enquanto que predadores, fragmentadores e raspadores foram menos abundantes do que nos demais sítios amostrais (Tabela 5). Os cálculos dos índices sobre funcionamento de ecossistemas evidenciaram que em P3 há maiores teores de FPOM transportada na coluna d’água dos que nos demais sítios amostrais. Por outro lado, menor concentração de CPOM. O menor valor do indicador % coletores-filtradores em P2, sugere uma menor estabilidade do substrato do que nos demais sítios amostrais, corroborando o resultado do Protocolo de Avaliação Rápida de habitats.

Tabela 3. Métricas de riqueza, abundância e diversidade de Shannon e Simpson de macroinvertebrados bentônicos coletados nos três sítios amostrais no Rio das Velhas em São Bartolomeu (MG), junho de 2021 e valores médios (sítio P2) da série histórica (Projeto Manuelzão/UFGM) no período de seca, de 2003 a 2011.

Métricas biológicas	Sítios amostrais			Média histórica
	P1	P2	P3	
Riqueza	25	23	28	14
Abundância	637	479	3393	423
Índice de Shannon	1,67	1,59	0,63	-
Índice de Simpson	0,65	0,64	0,23	-

Fonte: elaboração própria

Tabela 4. Indicadores associados à sensibilidade às alterações antrópicas nos três sítios amostrais no Rio das Velhas em São Bartolomeu (MG), junho de 2021.

Métricas Biológicas	P1	P2	P3
BMWP	166	153	158
BMPW-ASPT	6,6	6,7	6,0
% Sensíveis	26,5	24,2	1,5
% Tolerantes	17,3	19,0	10,2
% Resistentes	56,2	56,8	88,3

Fonte: elaboração própria

Tabela 5. Grupos funcionais alimentares de macroinvertebrados bentônicos nos três sítios amostrais no Rio das Velhas em São Bartolomeu (MG), junho de 2021.

Grupo Funcional Alimentar	Sítios amostrais		
	P1	P2	P3
% Coletores-catadores (CC)	78%	82%	92%
% Coletores-filtradores (CF)	1%	1%	6%
% Predadores (P)	9%	8%	1%
% Fragmentadores (F)	3%	3%	0%
% Raspadores (R)	4%	1%	0%

Fonte: elaboração própria

### 3.3 Peixes

Foram coletados 34 indivíduos pertencentes a 3 espécies (Tabela 6; Figura 4). A Tabela 7 apresenta os valores de abundância em número e biomassa das 3 espécies registradas, por local de amostragem.

Tabela 6. Lista das espécies de peixes ordenadas por Ordem e Família, com os respectivos nomes populares coletadas nos três sítios amostrais no Rio das Velhas em São Bartolomeu (MG), junho de 2021.

Taxa	Nome popular
Ordem Characiformes	
Família Characidae	
<i>Psalidodon rivularis</i> (Lütken 1875)	Lambari
Família Crenuchidae	
<i>Characidium fasciatum</i> Reinhardt 1867	Mocinha
Ordem Siluriformes	
Família Loricariidae	
<i>Neoplecostomus franciscoensis</i> Langeani 1990	Cascudinho

Fonte: elaboração própria



Figura 4. *Psalidodon rivularis* (lambari) – vista lateral (A), *Characidium fasciatum* (mocinha) – vistas dorsal (B) e lateral (C) - *Neoplecostomus franciscoensis* (cascudinho) – vistas ventral (D), dorsal (E) e lateral (F).

Fonte: elaboração própria

Tabela 7. Número (N) e biomassa (B) das espécies, por local de amostragem, coletadas nos três sítios amostrais no Rio das Velhas em São Bartolomeu (MG), junho de 2021.

Espécies	Locais						Total	
	P1		P2		P3			
	N	B (g)	N	B (g)	N	B (g)	N	B (g)
<i>Psalidodon rivularis</i>	-	-	1	4,84	15	28,37	16	33,21
<i>Characidium fasciatum</i>	1	4,33	-	-	-	-	1	4,33
<i>Neoplecostomus franciscoensis</i>	10	20,45	-	-	7	9,17	17	29,62
Total	11	24,78	1	4,84	22	37,54	34	67,16

Fonte: elaboração própria.

#### 4. Discussão

Os resultados deste estudo evidenciam que a ocupação urbana na sede do distrito de São Bartolomeu (MG) tem causado a perda da qualidade ambiental do Rio das Velhas, através de fontes de poluição de origem difusa (em P2) e direta, por meio do efluente tratado lançado pela ETE (P3). Destacamos a redução da diversidade de habitats, a perda de aproximadamente 60% da diversidade biológica de macroinvertebrados bentônicos indicadores de qualidade da água e o aumento da concentração de bactérias *Escherichia coli* em mais de 20 vezes em relação ao sítio amostrado de referência, a montante do distrito. Comparando com a série histórica de biomonitoramento realizado nas últimas duas décadas ao longo da bacia do rio das Velhas, observa-se risco à qualidade ecológica, bens e serviços ecossistêmicos oferecidos por suas águas, no distrito de São Bartolomeu. Evidenciamos que a urbanização impacta a qualidade de água e as assembleias de macroinvertebrados bentônicos; os parâmetros físicos e químicos caracterizam

apenas o momento de amostragem, enquanto as assembleias bentônicas refletem a qualidade ao longo do tempo. Isso explica a qualidade de água mensurada neste trabalho ser semelhante em P2 e P3, mas os bioindicadores bentônicos evidenciam um gradiente de decréscimo acentuado. Por outro lado, os peixes não se mostraram bons indicadores nessas condições de distúrbio intermediário, devido à sua alta mobilidade (Macedo et al., 2014).

A qualidade de água observada nos sítios P2 e P3 é inferior ao sítio de referência (P1), sobretudo em relação ao Índice de Qualidade de Águas e à presença de coliformes termotolerantes. O sítio de referência possui uma condição excelente quanto à balneabilidade, em conformidade aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 274/2000 (Brasil, 2000); no entanto, os sítios P2 e P3 apresentaram qualidade não satisfatória. Os efluentes urbanos, mesmo tratados, são potencialmente responsáveis por causar distúrbios antropogênicos em ecossistemas aquáticos e suas bacias de drenagem. Em São Bartolomeu, as descargas eventuais da Estação de Tratamento de Esgoto da Saneouro no rio das Velhas têm comprometido a qualidade de suas águas. A avaliação através de bioindicadores bentônicos aponta redução das abundâncias de grupos sensíveis e tolerantes. Observamos também o aumento acentuado da abundância de organismos da família Chironomidae (NP1 = 317, NP3 = 2967), que é um grupo reconhecido como resistente à poluição (França et al., 2019). Esta alteração na composição taxonômica evidencia perda de biodiversidade e distúrbio devido ao lançamento de esgotos pela ETE em momentos não captados através de uma campanha pontual. No entanto, o impacto antrópico sobre os cursos d'água não ocorre apenas em lançamentos pontuais, visto que os sítios P2 e P3 possuem valores dos parâmetros de qualidade de água, sobretudo os bacteriológicos, semelhantes. A urbanização causa o aumento do carreamento de partículas presentes na superfície das cidades, como resíduos sólidos (p.ex. lixo, resíduos de construção civil), excremento de animais e partículas atmosféricas oriundas de queima de combustíveis fósseis. Esse processo aumenta a carga de nutrientes, sedimentos, metais pesados, pesticidas e outros contaminantes, que impactam os cursos d'água e levam ao declínio da integridade de comunidades aquáticas (Paul e Meyer, 2001). Os serviços de saneamento devem contemplar, além da coleta e tratamento de esgotos de forma eficiente, a limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente (Brasil, 2020).

A composição taxonômica e a diversidade de macroinvertebrados bentônicos têm sido frequentemente utilizadas como medida de integridade de ecossistemas aquáticos no cerrado mineiro (Macedo et al., 2016; Callisto et al., 2019a) e, na bacia do Rio das Velhas, em uma abordagem prática e útil a gestores ambientais e membros de comitês de bacia (Ferreira et al., 2011, 2012). Em áreas urbanas são encontrados menores valores de índices de diversidade e métricas biológicas (p.ex. BMWP, BMWP-ASPT), como reflexo de distúrbios humanos nos ecossistemas aquáticos, sobretudo devido à urbanização e lançamento de esgotos sem tratamento adequado. A restauração de rios urbanos é prioridade em todo o hemisfério sul (Wantzen et al., 2019), com peculiaridades geográficas e político-sociais, na chamada 'Síndrome dos Hidrossistemas Urbanos do Hemisfério Sul'. A diversidade de problemas biofísicos e interações sociais, incluindo a percepção dos ecossistemas aquáticos por moradores, interações entre

atores sociais e as motivações sócio-ambientais devem ser consideradas para o delineamento de projetos de restauração fluvial (Macedo e Magalhães Jr, 2011; Feio et al., 2021). O Rio das Velhas no Distrito de São Bartolomeu ainda possui condições de referência, capacitando-o a ser uma meta para projetos de restauração fluvial em trechos de cabeceira em bacias hidrográficas tropicais.

Todas as três espécies de peixes são típicas de cabeceiras de cursos d'água (Langeani, 1990; Buckup, 2003; Lütken, 2010) caracterizadas por serem de ambientes lóticos, com águas rápidas, temperaturas baixas, fundo de areia, cascalho e rochas e são consideradas sensíveis à perda de qualidade da água e do ambiente em seu entorno. *Psalidodon rivularis* é onívoro (Casatti e Castro, 1988) alimentando-se tanto de macroinvertebrados aquáticos como de insetos provenientes da mata ciliar e material vegetal (Moreira et al. 2014). *Characidium fasciatum* se alimenta de macrozooplâncton e invertebrados aquáticos (Uieda, 1983), com preferência por larvas de insetos (Casatti e Castro, 2006). *Neoplecostomus franciscoensis*, se alimenta do perífiton aderido ao cascalho (Casatti e Castro, 1988) e estruturas rígidas do leito do rio, como a maioria dos Loricariídeos (Andrade, 2012). Essas espécies de peixes identificadas neste monitoramento foram registradas em campanhas anteriores realizadas desde junho de 1999 no programa de Biomonitoramento de Peixes da Bacia do Rio das Velhas (Alves e Pompeu, 2010). Caso a qualidade das águas do rio das Velhas seja alterada por atividades urbanas em São Bartolomeu, pode-se supor que as espécies hoje registradas possam sofrer impactos e até desaparecerem localmente. No próprio rio das Velhas esse tipo de situação foi registrado a jusante da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) tanto para peixes quanto para macroinvertebrados bentônicos (Pompeu et al., 2005). Com base na avaliação da ictiofauna como bioindicadora, aparentemente ainda não foi detectada perda de qualidade de água ao longo do tempo, uma vez que as espécies registradas ocorrem na área há duas décadas, pelo menos.

Programas de monitoramento de qualidade de águas podem subsidiar a proposição de soluções efetivas para esses distúrbios antropogênicos, mas deve-se ter em mente a importância de acessar não só aspectos físicos e químicos da água, bem como o habitat físico e as condições biológicas (França et al., 2019). Nossos resultados reforçam a importância em utilizar indicadores biológicos, pois são capazes de aferir impactos antrópicos ao longo do tempo, ao contrário de indicadores físicos, químicos e bacteriológicos, que conseguem caracterizar a qualidade de água apenas no momento da coleta.

## 5. Conclusões e Recomendações

Os resultados deste estudo evidenciam que áreas urbanas que não possuem saneamento adequado, mesmo de baixa densidade como o distrito de São Bartolomeu, exercem influência negativa sobre os cursos d'água. Em comparação à média histórica no rio das Velhas em São Bartolomeu, observamos aumento das concentrações de N-total e P-total e redução de sólidos totais dissolvidos, turbidez e condutividade elétrica. Os bioindicadores bentônicos evidenciaram perda de qualidade ambiental, redução do índice de diversidade em P2 e P3, menor percentual de grupos sensíveis e tolerantes, maior abundância de organismos resistentes à poluição (Chironomidae, Oligochaeta e Mollusca).

Observamos aumento de vinte vezes nas concentrações de bactérias *Escherichia coli* em P2 e P3, evidenciando risco sanitário às populações ribeirinhas. Portanto, na bacia do rio das Velhas os bioindicadores bentônicos foram eficientes em identificar as fontes de poluição pontuais e difusas em São Bartolomeu, sendo mais eficientes e complementando os tradicionais parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos, tradicionalmente utilizados no Brasil.

Em relação à gestão de recursos hídricos, recomendamos aos moradores e visitantes do distrito de São Bartolomeu, políticos e gestores ambientais, ser de fundamental importância dar ampla divulgação dos resultados desse estudo. Sugerimos (i) a ampliação da rede de captação de esgoto doméstico do distrito, para evitar o lançamento de esgotos sem tratamento nas águas do rio das Velhas; (ii) recomendamos que seja realizada uma investigação mais detalhada da carga de nutrientes e microrganismos lançados nas águas do rio das Velhas pela ETE; (iii) investigar as principais fontes geradoras de cargas difusas que podem estar ligadas à deficiência na limpeza urbana e disposição de resíduos sólidos; (iv) a preservação do leito natural do Rio das Velhas; (v) a conservação da vegetação ripária e o plantio de mudas de espécies nativas, conforme preconizado pelo Código Florestal Brasileiro; (vi) a intensificação de campanhas de conscientização junto a moradores, visitantes, estudantes e população ribeirinha sobre a importância da conservação de qualidade de água e biodiversidade aquática (p.ex. insetos aquáticos e peixes), a importância dos bens e serviços ecossistêmicos providos pelo Rio das Velhas e os riscos de perda devido ao incremento de poluição em suas águas; (vii) a realização de um Programa de Biomonitoramento com Bioindicadores de Qualidade de Água, contínuo e de longo prazo (5-10 anos), financiado pelo Poder Público, utilizando as abordagens e ferramentas aqui apresentadas, permitindo a comparação com a série histórica de dados existente; (viii) a implementação de um Programa de Monitoramento Participativo (ciência cidadã).

## Agradecimentos

Este estudo foi financiado pelo Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (CEMIG-ANEEL GT-599); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (PPM 00104-08), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (140364/2021-8 para JA, 304060/2020-8 para MC, 309763-2020-7 para DRM), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (Código 001). Agradecemos ao Sr. José Geraldo dos Anjos pelo apoio nas amostragens em campo, aos técnicos Anderson Santos da Rocha (LEB-DGEE-ICB-UFMG) pelas análises de parâmetros físicos e químicos, e ao Fernando César da Costa do Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos (Depto. Geografia, IGC-UFMG) pelo apoio nas análises de nutrientes em laboratório; ao Talles Ribeiro e Vinicius Reis pela colaboração no processamento de amostras em laboratório; e às sugestões de Diego M. P. Castro e Marden S. Linares.

## Apêndice

Apêndice 1 – Composição taxonômica, classificação em grupos tróficos funcionais e número de indivíduos de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água coletados nos três sítios amostrais no rio das Velhas, São Bartolomeu (MG) em junho de 2021. (CC: coletores-catadores, CF: coletores-filtradores, P: predadores, F: fragmentadores).

Táxons	GTF	P1	P2	P3
Ephemeroptera-Baetidae	CC	12	15	61
Ephemeroptera-Leptohyphidae	CC	84	79	11
Ephemeroptera-Leptophlebiidae	CC	41	3	5
Plecoptera-Perlidae	P	4	1	3
Plecoptera-Gripopterygidae	F	1	2	5
Trichoptera-Hydrobiosidae	P	0	0	3
Trichoptera-Hydropsychidae	CF	4	0	10
Trichoptera-Calamoceratidae	F	16	10	1
Trichoptera-Hydroptilidae	R	1	0	0
Trichoptera-Leptoceridae	F	0	3	2
Trichoptera-Odontoceridae	F	0	0	1
Trichoptera-Polycentropodidae	P	2	0	0
Trichoptera-Sericostomatidae	F	1	1	0
Coleoptera-Elmidae	CC	55	46	74
Coleoptera-Hydrophilidae	P	4	4	9
Coleoptera-Psephenidae	R	1	0	3
Coleoptera-Scirtidae	R	0	0	3
Heteroptera-Naucoridae	P	0	4	0
Heteroptera-Helotrephidae	P	1	7	0
Odonata-Aeshnidae	P	1	0	0
Odonata-Calopterygidae	P	6	1	9
Odonata-Coenagrionidae	P	1	1	1
Odonata-Gomphidae	P	8	12	3
Odonata-Libellulidae	P	3	6	3
Odonata-Megapodagrionidae	P	6	1	1
Diptera-Chironomidae	CC	357	272	2967
Diptera-Ceratopogonidae	P	21	1	10
Diptera-Empididae	P	0	2	1
Diptera-Simuliidae	CF	1	3	178
Diptera-Tabanidae	P	0	0	1
Diptera-Tipulidae	F	5	4	1
Oligochaeta	CC	0	0	2
Hydracarina	P	0	1	0
Mollusca-Bivalvia	F	1	0	24
Mollusca-Planorbidae	R	0	0	1

Fonte: elaboração própria

## Referências

- Agra, J., Callisto, M., Santos, R. (2015). Condições de referência em riachos tropicais: bases para monitoramento e conservação de recursos hídricos. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Curitiba (PR).
- Agra, J., Ligeiro, R., Macedo, D.R., Hughes, R.M., Callisto, M. (2019). Ecoregions and stream types help us understand ecological variability in neotropical reference streams. *Marine and Freshwater Research* 70:594-602. <https://doi.org/10.1071/MF18309>
- Alves, C.B.M., Pompeu, P.S. (2010). A Fauna de Peixes da Bacia do Rio das Velhas no Final do Século XX. In: Alves, C.B.M; Pompeu, P.S. (Org.). *Peixes do Rio*

- das Velhas: Passado e Presente. 2ª ed. Argumentvm, Belo Horizonte (MG), pp.167-189
- Andrade, B.N. (2012). Uma espécie nova de *Neoplecostomus* Eigenmann e Eigenmann, 1888 (Siluriformes: Loricariidae: Neoplecostominae) do Sistema do Alto rio Paraná, com uma descrição osteológica completa de *Neoplecostomus microps* (Steindachner, 1876). Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Unesp, São José do Rio Preto (SP). 99p.
- APHA - American Public Health Association (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.
- Brasil (2000). Resolução nº 274 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 29 de outubro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. In: Diário Oficial da União, Brasília (DF).
- Brasil (2020). Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. In: Diário Oficial da União, Brasília (DF).
- Britski, H. A., Sato, Y., Rosa, A. B. S. (1986). Manual de Identificação de Peixes da região de Três Marias. Câmara dos Deputados/CODEVASF, Brasília (DF). 128p.
- Buckup, P. A. (1992). Redescription of *Characidium fasciatum*, type species of the Characidiinae (Teleostei, Characiformes). *Copeia* 1992(4):1066-1073. <https://doi.org/10.2307/1446639>
- Callisto, M., Ferreira, W., Moreno, P., Goulart, M., Petrucio, M. (2002). Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnológica Brasiliensia* 14(1):91-98.
- Callisto, M., Moreno, P., Macedo, D. (2019a). Biomonitoramento e pressões da urbanização: uma abordagem integrada entre Ecologia e Geografia na bacia do rio das Velhas. *Revista Espinhaço* 8(1):2-12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3345811>
- Callisto, M., Solar, R., Silveira, F., Saito, V., Hughes, R., Fernandes, G., Gonçalves-Júnior, J., Leitão, R., Massara, R., Macedo, D., Neves, F., Alves, C. (2019b). A Humboldtian Approach to mountain conservation and freshwater ecosystem services. *Frontiers in Environmental Science* 7:a195. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00195>
- Casatti, L., R. M. C. Castro. (1998). A fish community of the São Francisco River headwater riffles, southeastern Brazil. *Ichthyological Exploration of Freshwaters* 9: 229-242.
- Casatti, L., Castro, R.M.C. (2006). Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 4(2):203-214.
- Costa, C., Ide, S., Simonka, C. (2006). Insetos imaturos – Metamorfose e Identificação. Holos, Ribeirão Preto (SP).
- Cummins, K.W., Merritt, R.W., Andrade, P.C.N. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 40(1): 69-89. <https://doi.org/10.1080/01650520400025720>
- Feio, M.J., Ferreira, W., Macedo, D., Eller, A., Alves, C.B.M., França, J.S., Callisto, M. (2015). Defining and testing targets for the recovery of tropical streams based on macroinvertebrate communities and abiotic conditions. *River Research and Applications* 31:70-84. <https://doi.org/10.1002/rra.2716>

- Feio, M.J., Hughes, R.M., Callisto, M., Nichols, S.J., Odume, O.N., Quintella, B.R., Kuemmerlen, M., Aguiar, F.C., Almeida, S.F.P., Alonso-EguíaLis, P., Arimoro, F.O., Dyer, F.J., Harding, J.S., Jang, S., Kaufmann, P.R., Lee, S., Li, J., Macedo, D.R., Mendes, A., Mercado-Silva, N., Monk, W., Nakamura, K., Ndiritu, G.G., Ogden, R., Peat, M., Reynoldson, T.B., Rios-Touma, B., Segurado, P., Yates, A.G. (2021). The biological assessment and rehabilitation of the world's rivers: an overview. *Water* 13: 371. <https://doi.org/10.3390/w13030371>
- Fernández, W., Domínguez, E. (2001). Guía para la determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Tucumán (COL).
- Ferreira, W.R., Paiva, L., Callisto, M. (2011). Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed. *Brazilian Journal of Biology* 71(1):15-25. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000100005>
- Ferreira, W.R., Rodrigues, D.R., Alves, C.B.M., Callisto, M. (2012). Biomonitoramento de longo prazo da bacia do rio das Velhas através de um índice multimétrico bentônico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 17(3):253-259. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n3.p253-259>
- França, J.S., Callisto, M. (2019). Monitoramento participativo de rios urbanos por estudantes-cientistas. Juliana S. França, Belo Horizonte (MG). <https://doi.org/10.17648/ufmg-monitoramento2019>.
- França, J.S., Solar, R., Hughes, R.M., Callisto, M. (2019). Student monitoring of the ecological quality of neotropical urban streams. *Ambio* 48:867-878. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1122-z>
- Garuana, L., Macedo, D.R., Matta-Machado, A.T., Callisto, M. (2020). Integração de indicadores ecológicos, ambientais e de saúde humana em microbacias urbanas. *Revista do Espinhaço* 9(1):1-16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3937470>
- IGAM - Instituto Mineiro de Gestão de Águas (2017). Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2016. IGAM, Belo Horizonte (MG).172 p.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2021). Rede Hidrometeorológica Nacional. INEMET, Brasília (DF).
- Junqueira, M.V., Campos, S.C.M. (1998). Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 10(2):125-135.
- Junqueira, M.V., Amarante, M., Dias, C., França, E. (2000). Biomonitoramento de qualidade das águas da Bacia do Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados. *Acta Limnologica Brasiliensia* 12(1):73-87.
- Junqueira, M.V., Alves, K., Paprocki, H., Campos, M., de Carvalho, M., Mota, H., Rolla, M. (2018). Índices bióticos para avaliação de qualidade de água de rios tropicais – síntese do conhecimento e estudo de caso: bacia do alto Rio Doce. *Brazilian Journal of Environmental Sciences* 49:15-33. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180322>
- Klamt, R.A., Lobo, E.A., Costa, A.B. da (2021). Development of a Water Quality Index (WQI) for public supply in the Vale do Rio Pardo region, RS, Brazil. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 16(4):e2711. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2711>
- Langeani, F. (1990). Revisão do gênero *Neoplecostomus* Eigenmann e Eigenmann, 1888, com a descrição de quatro novas espécies do sudeste brasileiro (Ostariophysi, Siluriformes, Loricariidae). *Comunicações do Museu de Ciências da PUCRS: série Zoologia* 3(1):3-31.

- Lütken, C.F. (2010). Peixes do rio das Velhas: uma contribuição para a ictiologia do Brasil. In: Alves, C.B.M., Pompeu, P.S. (Org). Peixes do rio das Velhas: passado e presente. Argvmentvm, Belo Horizonte (MG), pp.25-166.
- Macedo, D.R., Magalhães Jr, A.P. (2011). Percepção social no programa de restauração de cursos d'água urbanos em Belo Horizonte. *Sociedade e Natureza*, 23(1):51–63 <https://doi.org/10.1590/S1982-45132011000100005>
- 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* 16(3):127–139. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v16n3.p127-139>
- 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(6):1001–1016. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0036-9>
- Macedo, D.R., Hughes, R.M., Ferreira, W.R., Firmiano, K., Silva, D., Ligeiro, R., Kaufmann, P.R. e Callisto, M. (2016). Development of a benthic macroinvertebrate multimetric index (MMI) for Neotropical Savanna headwater streams. *Ecological Indicators* 64:132-141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.019>
- Magurran, A.E. (2013). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd, Oxford (UK).
- Merritt, R.W., Cummins, K.M., Berg, M. (2008). *An introduction to aquatic insects of North America*. 4th ed. Kendall/Hunt publishing company, Dubuque (IA).
- Mugnai, R., Nessimian, J., Baptista, D. (2010). *Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro*. Technical Books Editora, Rio de Janeiro (RJ).
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C. G., Fonseca, G., Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858 <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Moreira, M.A., Souza, B.A.A., Maia, B.P. e Faria, L.E. (2014) Alimentação dos lambaris *Astyanax fasciatus* (Cuvier 1819) e *Astyanax rivularis* (Lütken 1875) (Osteichthyes, Characidae) na área cárstica de Lagoa Santa, Minas Gerais/Brasil. *MG.BIOTA*, 7(2):14-29
- Paul, M.J., Meyer, J.L. (2001). Stream in the urban landscape. *Annual review of Ecology and Systematics* 32:333–65. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040>
- Pompeu, P.S., Alves, C.B.M., Callisto, M. (2005). The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas basin, Brazil. In: Brown, L. R., Hughes, R. M., Gray, R., Meador, M.R. (Org.). *Effects of urbanization on stream ecosystems*. Bethesda (MD), pp. 11-22.
- Ramírez, A., Gutiérrez-Fonseca, P. (2014). FFG of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical* 62(Suppl 2):155-167. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15785>
- Rothe-Neves, M., Macedo, D.R., Callisto, M. (2019). Eficiência de projetos de reabilitação de rios urbanos no Brasil: um estudo de caso do programa Drenurbs – Belo Horizonte (MG). XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu (PR).
- Silva, D., Herlihy, A., Hughes, R.M., Callisto, M. (2017). An improved macroinvertebrate multimetric index for the assessment of wadeable streams in

- neotropical savanna. *Ecological indicators* 81:514-525. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.017>
- Silveira, J.S., Romano, B.M.L., Costa, F.C., Lopes, F.A., Callisto, M., Macedo, D.R. (2019). Avaliação da qualidade da água e influência da sazonalidade em córregos urbanos reabilitados. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu (PR).
- Terán, G.E., Benitez, M.F., Mirande, J.M. (2020). Opening the Trojan horse: phylogeny of *Astyanax*, two new genera and resurrection of *Psalidodon* (Teleostei: Characidae). *Zoological Journal of the Linnean Society* 190(4):1217-1234. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlaa019>
- Uieda, V.S. (1983). Regime alimentar, distribuição espacial e temporal de peixe (Teleostei) em um riacho na região de Limeira, São Paulo. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Unicamp, Campinas (SP). 151p.
- Wantzen, M.K., Alves, C.B.M., Badiane, S.D., Bala, R., Blettler, M., Callisto, M., Cao, Y., Kolb, M., Kondolf, G.M., Leite, M.F., Macedo, D.R., Mahdi, O., Neves, M., Peralta, M.E., Rotgé, V., Rueda-Delgado, G., Scharager, A., Serra-Llobet, A., Yengué, J.-L., Zingraff-Hamed, A. (2019). Urban stream and wetland restoration in the Global South - A DPSIR analysis. *Sustainability* 11:4975.