



MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL

ELISANGELA CRISTINA DA SILVA COSTA

AVALIAÇÃO ECOLÓGICA DA SUB-BACIA DO ALTO RIBEIRÃO GRAIPU(MG)

Bambuí – MG

2023

ELISANGELA CRISTINA DA SILVA COSTA

AVALIAÇÃO ECOLÓGICA DA SUB-BACIA DO ALTO RIBEIRÃO GRAIPU(MG)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Linha de pesquisa: Ecologia aplicada.

Projeto Estruturante: Análise e Gestão da Paisagem

Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

Bambuí– MG

2023

FINANCIAMENTO:



GT-599 - Proecos

BOLSA DE PESQUISA:



APOIO:



AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço ao Senhor da minha vida, pelo fôlego de vida que me sustentou todos os dias ao longo desta jornada, me proporcionando resiliência, esperança, e bom ânimo mesmo em meio às adversidades.

Agradeço à minha mãe, por ser o meu maior exemplo de força e determinação, por seus preciosíssimos ensinamentos em que... “desistir não é uma opção”. E ao meu pai (*in memoriam*), por ter me ensinado tanto através do seu olhar, por tão pouco tempo!

Agradeço ao meu marido William, por ter sido o grande incentivador na realização de mais um sonho. Obrigada pela amizade, cumplicidade, credibilidade e tanta força. Sem você, essa jornada teria sido muito difícil. Obrigada por tanto!

Agradeço à minha orientadora, Profa. Grazielle Wolff, pela parceria, ajuda e atenção ao longo do Mestrado.

Agradeço à minha coorientadora, Profa. Patrícia Gomes, por me conectar ao LEB, pela parceria, apoio e atenção ao longo do mestrado.

Agradeço ao meu coorientador, Prof. Marcos Callisto, que abriu as portas do Laboratório de Ecologia de Bentos (DGEE/ICB/UFMG), tornando este trabalho real, viabilizando recursos, equipe técnica e tudo o que foi necessário para alcançarmos um só objetivo. Obrigada pela paciência nas inúmeras correções e revisões, por ter compartilhado seus valiosíssimos conhecimentos, por ter me ensinado além dos livros!

Agradeço à toda equipe do LEB/UFMG que contribuíram grandemente nesse processo de formação.

Agradeço ao projeto P&D ANEEL/CEMIG GT-599 pelo subsídio financeiro, viabilizando minha permanência no mestrado e realização do projeto.

Agradeço ao SAAE pela parceria e direcionamento das áreas de estudo. Por fim, agradeço a todos os envolvidos nas diferentes formas de ajuda para minha formação.

Obrigada a todos!

“Natura filiorum Dei manifestationem expectat”.

(Romans 8.19)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação Seção de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
(37) 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

PARECER Nº 1

Em: 27 de fevereiro de 2023.

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “**AVALIAÇÃO ECOLÓGICA DA SUB-BACIA DO ALTO RIBEIRÃO GRAIPU (MG)**”, de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Elisangela Cristina da Silva Costa, sob a orientação da prof. Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho e os coorientadores prof. Dra. Patrícia Pereira Gomes e prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 27/02/2023, com a média de 85,0 pontos.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pela professora orientadora.

Bambuí (MG), 27 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Grazielle Wolff de Almeida Carvalho, Professora**, em 07/03/2023, às 11:28, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Pereira Gomes, Professora**, em 07/03/2023, às 14:48, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Elisangela Cristina da Silva Costa, Usuário Externo**, em 09/03/2023, às 14:05, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marden Seabra Linares, Usuário Externo**, em 10/03/2023, às 15:35, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Callisto de Faria pereira, Usuário Externo**, em 10/03/2023, às 18:42, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Monteiro do Amaral, Usuário Externo**, em 12/03/2023, às 08:36, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocsinformando> o código verificador **1479516** e o código CRC **E92CA9F1**.

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

C837a Costa, Elisângela Cristina da Silva.
Avaliação ecológica da sub-bacia do Alto Ribeirão
Graipu(MG). /Elisângela Cristina da Silva Costa. – Bambuí,
2023.
282 f.: il.; color.

Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho.
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação,
Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado
Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2023.

1. Degradação ambiental. 2. Guanhães. 3. Qualidade da água. I.
Carvalho, Grazielle Wolff de Almeida. II. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí,
MG. III. Título.

RESUMO

A degradação ambiental na sub-bacia do ribeirão Graipu (Guanhães, Minas Gerais) devido a distúrbios por atividades humanas tem sido crescente e intensa. O manejo inadequado do uso da terra devido à conversão de cobertura vegetal nativa em pastagens, desmatamento de matas ciliares, além de queimadas, têm resultado em processos erosivos em terras cultivadas e/ou abandonadas após mineração, contaminação do solo e de mananciais por efluentes domésticos. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade ecológica dos ecossistemas aquáticos no trecho do alto ribeirão Graipu utilizando a abordagem de Avaliação Ecológica Rápida, que engloba parâmetros físicos, químicos e biológicos. Foi testada a hipótese de que a poluição pontual e difusa afeta negativamente a qualidade de água e a diversidade de macroinvertebrados bentônicos. Foi previsto que: (a) trechos de rios minimamente alterados por atividades humanas possuem maior diversidade de habitats e maior abundância de grupos de bioindicadores bentônicos sensíveis e tolerantes à poluição (p.ex. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera); (b) trechos de rios severamente degradados por atividades antrópicas têm pior qualidade de água e reduzida diversidade de habitats, onde é encontrada maior abundância de bioindicadores bentônicos resistentes à poluição (p.ex. Chironomidae e Oligochaeta). Para testar a hipótese foi aplicado um Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida de Diversidade de Hábitats e avaliados os bioindicadores bentônicos de qualidade de água, além da mensuração de parâmetros físicos e químicos. Foram coletadas amostras em sete sítios amostrais e, posteriormente, processadas no Laboratório de Ecologia de Bentos da Universidade Federal de Minas Gerais. A identificação taxonômica dos macroinvertebrados resultou na classificação de 41 táxons diferentes compreendendo um total de 1.441. Os resultados evidenciaram que existe relação de causa e efeito entre as atividades antrópicas e a diversidade de bioindicadores bentônicos. O diagnóstico evidenciou que sítios em condições alteradas e degradadas, apresentaram reduzida qualidade de água, favorecendo a redução da diversidade de habitats e dominância de organismos bentônicos resistentes à poluição. Essas informações contribuirão para subsidiar o monitoramento de qualidade de água e bioindicadores bentônicos na sub-bacia do ribeirão Graipu, a implementação de atividades de educação ambiental e medidas de gestão de recursos hídricos na bacia.

Palavras-chave: degradação ambiental, Guanhães, qualidade da água, uso do solo.

ABSTRACT

The environmental degradation in the Graipu stream sub-basin (Guanhães, Minas Gerais) due to disturbances by human activities has been increasing and intense. The improper management of land use due to the conversion of native vegetation cover into pastures, deforestation of riparian forests, beyond the bushfires, have resulted in erosion processes in cropped areas and/or abandoned after mining, contamination of soil and water sources by domestic effluents. The aim of this study was to evaluate the ecological quality of freshwater ecosystems in the upper Graipu stream using a Rapid Ecological Assessment approach, which encompasses physical, chemical and biological parameters. The hypothesis that one-off and diffuse pollution negatively affects water quality and diversity of benthic macroinvertebrates was tested. It was predicted that: (a) stream sites minimally altered by human disturbances have greater diversity of habitats and greater abundance of pollution-sensitive and pollution-tolerant benthic bioindicator groups (e.g., Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera); (b) stream sites heavily degraded by human disturbances have worse water quality, and low habitats' diversity, where high abundance of pollution-resistant benthic bioindicators are found (e.g., Chironomidae and Oligochaeta). A Rapid Ecological Assessment Protocol for Habitat Diversity, benthic bioindicators, physical and chemical parameters were assessed in seven stream sites. Benthic samples were processed at the Laboratory Ecology of Benthos of Federal University of Minas Gerais. The taxonomic identification of macroinvertebrates resulted in the classification of 41 different taxa comprising a total of 1.441. The results showed a cause-effect relationship of anthropic activities on the benthic community. The diagnosis showed that stream sites in altered and degraded conditions had reduced water quality, contributing to lower habitat diversity and higher abundance of pollution-resistant benthic bioindicators. This information is essential to subsidize the water quality and benthic bioindicators monitoring in the Graipú stream sub-basin, in addition to implement environmental education activities, and support of water resources management measures.

Keywords: environmental degradation, Guanhães, water quality, water quality, use of the soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da sub-bacia do ribeirão Graipu na sub-bacia do rio Doce (ANA, 2017; IBGE, 2020)	25
Figura 2- Delimitação da sub-bacia inserida no bioma Mata Atlântica, localização das UC's e tipos	26
Figura 3- Distribuição dos sítios amostrais na área de estudo (ANA, 2017; IBGE, 2020).	27
Figura 4- (A) P1: PESC; (B) P2: Reserva Legal da Cenibra; (C) P3: barragem de captação de água bruta do SAAE; (D) P4: área rural à montante do Córrego Santa Cruz; (E) P5: Minas Mineração Guanhões LTDA; (F) P6: área rural da comunidade Pinheiros; (G) P7: montante do córrego Santa Cruz	29
Figura 5- Coleta de macroinvertebrados bentônicos em campo utilizando amostrador do tipo Kicking-net, na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC E R.L Cenibra, MG, abril/2022.	30
Figura 6- (A) Lavagem de amostras; (B) Triagem de amostras com auxílio da caixa de luz; (C).....	31
Figura 7- Mapeamento do uso e cobertura do solo (ANA, 2017; IBGE, 2020; MapBiomass, 2020).....	32
Figura 8- Coleta e mensuração de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC E R.L Cenibra, MG, abril/2022.	34
Figura 9- (A) Agitador eletromagnético e peneiras com amostras para análise granulométrica; (B) pesagem das alíquotas de amostras a serem incineradas para cálculo de teor de matéria orgânica.....	35
Figura 10- (A) Distribuição aleatória; (B) Distribuição agregada; (C) Distribuição uniforme.	37
Figura 11- Aplicação do Protocolo de avaliação Rápida (RAP) nos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.	44
Figura 12- Composição granulométrica de sedimentos coletados nos sete sítios amostrais na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões, MG, em abril de 2022.	48
Figura 13- Teores de matéria orgânica mensurados nos sedimentos em cada um dos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de	

Guanhães (MG), em abril de 2022.	48
Figura 14- Mapeamento do uso e cobertura do solo (ANA, 2017; IBGE, 2020; MapBiomas, 2020)	49
Figura 15- Índice de distúrbio integrado (IDI) pontuado nos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.	50
Figura 16- Composição taxonômica encontrada nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.....	51
Figura 17- (A) Riqueza taxonômica encontrada nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.....	52
Figura 18- Abundâncias de indivíduos (Nº ind.) encontrada nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022	52
Figura 19- (A) Índice de diversidade de Shannon-Wiener, calculado para os 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.	55
Figura 20- Índice de diversidade de Simpson calculado para os 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.	55
Figura 21- Índices de Equitabilidade de J. Pielou calculado para os 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.	56
Figura 22- Avaliação dos atributos de ecossistemas nos 7 sítios amostrais na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.	56
Figura 23- Riqueza de EPT's e riqueza de resistentes a poluição, avaliados nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.	59
Figura 24- Classificação de bioindicadores bentônicos classificados em sensíveis, tolerantes e resistentes a poluição nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhões (MG), em abril de 2022.....	59

Figura 25- Aplicação do índice multimétrico proposto por Macedo et al. (2016) nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.....60

Figura 26- Aplicação do índice multimétrico proposto por Silva et al. (2017) nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Identificação e coordenadas geográficas dos sítios amostrados.	27
Tabela 2- Classificação de padrões de dispersão.	37
Tabela 3- Classificação de qualidade de água de acordo com o índice BMWP	38
Tabela 4- Classificação da qualidade da água de acordo com o índice BMWP/ASPT. 39	
Tabela 5- Classificação da qualidade da água de acordo com o índice EPT	39
Tabela 6: Classificação de qualidade de água de acordo com o índice Razão EPT/ Chironomidae	39
Tabela 7- Categorias de grupos tróficos funcionais e fontes de recursos (adaptado de Cummins et al., 2005 e Merrit et al., 2017). MOPG= Matéria Orgânica Particulada Grossa e MOPF= Matéria Orgânica Particulada Fina.	41
Tabela 8- Índices baseados na composição de grupos funcionais de alimentação como indicadores de atributos de ecossistemas lóticos.	42
Tabela 9- Classificação dos scores MMI (Macedo et al., 2016) para avaliação da qualidade da água nasub-bacia do ribeirão Graipu, MG.	43
Tabela 10- Classificação dos scores MMI (Silva et al., 2017), para avaliação da qualidade da água.....	43
Tabela 11- Características físicas dos habitats avaliadas pela aplicação do Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida de condições ecológicas e Diversidade de Habitats em trechos de Sub-bacias Hidrográficas aplicados nos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu e PESC, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.....	45
Tabela 12- Parâmetros físicos e químicos da qualidade da água dos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu e PESC, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.	47
Tabela 13- Composição granulométrica de sedimentos e teores de matéria orgânica nos 7 sítios amostrais coletados no ribeirão Graipu em Guanhães (MG) em abril de 2022.	84
Tabela 14- Pontuação dos índices distúrbio local (LDI), índice de distúrbio na sub-bacia (CDI) e índice dedistúrbio integrado (IDI) de (Ligeiro et al., 2013).	50
Tabela 15- Valores de $p < 0,05$, na avaliação de causalidade dos índices de distúrbio local (LDI), sub-bacia(CDI) e integrado (IDI) de Ligeiro et al. (2013) sobre métricas bióticas, avaliadas nos 7 sítios amostrais dasub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022. Teste de “Chisq” com $N=7$	51

Tabela 16- Composição taxonômica e grupo funcional alimentar (GFA) distribuída por sítio amostral com base nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.	85
Tabela 17- Padrões de dispersão de macroinvertebrados bentônicos nos 7 sítios amostrais no ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.	54
Tabela 18- Valores e pontuações obtidos para o índice BMWP aplicado nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu e PESC, município de Guanhães (MG) em abril de 2022.	56
Tabela 19- Valores e pontuações obtidos para o índice BMWP-ASPT aplicado nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu e PESC, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.	57
Tabela 20- Avaliação dos grupos funcionais alimentares (GFA) aplicado aos macroinvertebrados bentônicos, coletados nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu e PESC, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.	57
Tabela 21- Avaliação do índice EPT, razão EPT / Chrironomidae, % Chrironomidae e % Chrironomidae/ Oligochaeta nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu e PESC, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.	58

ANEXOS

Tabela 13- Composição granulométrica de sedimentos e teores de matéria orgânica nos 7 sítios amostrais coletados no ribeirão Graipu em Guanhães (MG) em abril de 2022.	84
Tabela 16- Composição taxonômica e grupo funcional alimentar (GFA) distribuída por sítio amostral com base nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVO GERAL	18
2.1	Objetivos específicos	18
3	HIPÓTESE	18
4	REVISÃO DA LITERATURA	19
4.1	Crise hídrica e os impactos ambientais em ecossistemas de água doce	19
4.2	Programas de biomonitoramento em bacias hidrográficas.....	20
4.3	Ferramentas aplicadas ao biomonitoramento	21
4.4	Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água.....	22
5	METODOLOGIA	25
5.1	ÁREA DE ESTUDO	25
5.2	Desenho amostral	27
5.3	Caracterização dos sítios amostrais	28
5.4	Coleta de bioindicadores bentônicos	30
5.5	Avaliação Ecológica Rápida.....	31
5.5.1	Aplicação do Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida de Diversidade de Habitats	31
5.5.2	Uso e cobertura do solo	31
5.5.3	Análise de dados.....	33
5.5.4	Parâmetros físicos e químicos de qualidade de água	33
5.5.5	Coletas de sedimentos	34
5.5.6	Análise granulométrica e determinação de teores de matéria orgânica.....	34
5.6	ÍNDICES BIÓTICOS	35
5.6.1	Padrões de distribuição.....	36
5.6.2	Índices BMWP e BMWP-ASPT	37
5.6.3	Porcentagem de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT)	39
5.6.4	Razão EPT / Chironomidade	39
5.6.5	Classificação quanto aos níveis de tolerância de bioindicadores bentônicos: sensíveis, tolerantes e resistentes.....	40
5.6.6	Grupos Tróficos Funcionais	40
5.6.7	Índices Multimétricos Bentônicos (MMI).....	42
6	RESULTADOS.....	44
6.1	Avaliação Ecológica Rápida.....	44
6.1.1	Protocolo de Avaliação Rápida de Diversidade de Habitats e Integridade de Zonas Ripárias	44
6.1.2	Parâmetros físicos e químicos de qualidade de água	46
6.1.3	Composição Granulométrica e Teores de Matéria Orgânica nos Sedimentos	47
6.1.4	Avaliação de uso e cobertura do solo nas sub-bacias	49

6.2	ÍNDICES BIÓTICOS.....	51
6.2.1	Composição Taxonômica	51
6.2.2	Riqueza taxonômica, abundância e padrões de distribuição	52
6.2.3	Índices Shannon-Wiener, Simpson e J. Pielou	55
6.2.4	Índices BMWP e BMWP-ASPT	56
6.2.5	Grupos Tróficos Funcionais e Atributos de Ecossistema.....	57
6.2.6	Métricas Biológicas de Bioindicadores Bentônicos.....	58
6.2.7	Riqueza EPT e Riqueza de resistentes	58
6.2.8	Classificação de bioindicadores sensíveis, tolerantes e resistentes.....	59
6.2.9	Índices Multimétricos.....	60
7	DISCUSSÃO.....	62
8	CONCLUSÕES.....	68
9	RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	69
10	REFERÊNCIAS.....	70
	ANEXO A: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats.....	83
	ANEXO B: Composição granulométrica.....	85
	ANEXO C: Composição taxonômica.....	86
	APÊNDICE I-PRODUTO TÉCNICO E TECNOLÓGICO.....	87
	PRODUÇÕES TÉCNICAS.....	89
	Atendimento ao item 2 do Eixo 1 da CAPES.....	91
	Atendimento ao item 2 do Eixo 1 da CAPES.....	93
	Atendimento ao item 2 do Eixo 1 da CAPES.....	95
	Atendimento ao item 5 do Eixo 1 da CAPES.....	97
	Atendimento ao item 8 do Eixo 1 da CAPES.....	99
	Atendimento ao item 8 do Eixo 1 da CAPES.....	102
	Atendimento ao item 8 do Eixo 1 da CAPES.....	105
	Atendimento ao item 8 do Eixo 1 da CAPES.....	108
	Atendimento ao item 8 do Eixo 1 da CAPES.....	118
	Atendimento ao item 19 do Eixo 1 da CAPES.....	217

1 INTRODUÇÃO

Ecossistemas lóticos sofrem influência direta de atividades antrópicas incluindo lançamento de esgotos “*in natura*”, destruição e degradação de habitats e regulação de fluxo fluvial (DUDGEON et al., 2006; MACEDO et al., 2022), alterando temperatura, regimes de fluxo, química da água e características de substratos (HUGHES et al., 2014). Esse conjunto de alterações acarreta acidificação, eutrofização, alteração na conectividade de ecossistemas e de suas condições físicas (ORMEROD et al., 2010). Como consequência, observam-se diminuição na heterogeneidade ambiental e perda de biodiversidade de organismos aquáticos (DEVICTOR et al., 2010; LEITÃO et al., 2016; MONDY; MUÑOZ; DOLÉDEC, 2016), bens e serviços ecossistêmicos.

A conservação da qualidade de água em ecossistemas lóticos e sua biodiversidade são essenciais para garantir a manutenção de bens e serviços ecossistêmicos, incluindo fornecimento de água para múltiplos usos antrópicos e regulação de microclima local (DUDGEON et al., 2006). Uma das formas de se avaliar a qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos é através da utilização de bioindicadores (CALLISTO et al., 2019a). Os bioindicadores são grupos de espécies ou comunidades biológicas, cuja presença, quantidade e distribuição possam indicar a proporção de impactos ambientais em um ecossistema e sua bacia de drenagem (HOLT, 2010).

Dentre os principais grupos de organismos utilizados como bioindicadores, destacam-se os macroinvertebrados bentônicos. Entre eles, estão os insetos, crustáceos, anelídeos e moluscos (MUGNAI; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2010). Esses organismos oferecem respostas a múltiplos impactos ambientais, de fontes pontuais ou difusas, viabilizando respostas rápidas denexo causal entre os estressores ambientais e a biota aquática (BARBOUR; FAULKNER; GERRITSEN, 1999; FRANÇA; CALLISTO, 2019; ROSENBERG; RESH, 1993). Esses organismos participam de cadeias alimentares e cadeias de detritos, servindo como alimento para outros invertebrados e vertebrados como peixes, anfíbios, répteis, pássaros, em diferentes ecossistemas aquáticos (AGOURIDIS et al., 2015). Além disso, são comumente utilizados em programas de biomonitoramento para diagnóstico e avaliação da integridade biótica em bacias hidrográficas, os quais auxiliam principalmente na identificação de respostas a pressões antrópicas nos ecossistemas de água doce (CALLISTO et al., 2019a; KARR, 1999).

Esta dissertação de mestrado foi desenvolvida no âmbito de uma parceria

institucional entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), financiado pelo Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), por meio do Projeto em Ecologia (PROECOS) GT-599, e pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Guanhães em Minas Gerais, com o objetivo de oferecer dados e informações inéditos sobre a qualidade ecológica do trecho alto da sub-bacia do ribeirão Graipu utilizando bioindicadores bentônicos. Os resultados obtidos poderão subsidiar a proposição de um programa de biomonitoramento, conservação e proteção de cursos d'água na sub-bacia do ribeirão Graipu, no qual o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), utiliza como captação para abastecimento do município de Guanhães em Minas Gerais. Esta dissertação também inclui um diagnóstico de qualidade ecológica, usos da terra e inventário de bioindicadores bentônicos. Os produtos técnicos gerados são: elaboração de mapas sobre uso e ocupação da terra, tipos de vegetação e biomas presentes na sub-bacia do ribeirão Guaipu, material didático (produção de banners e capítulos de livro) e um Procedimento Operacional Padrão-POP (Apêndice I) com a proposição de ações de revitalização e recuperação do trecho alto do ribeirão Graipu, visando o aumento de vazão, melhoria e conservação de qualidade de água, conservação de biodiversidade aquática, garantindo bens e serviços ecossistêmicos.

2 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a qualidade ecológica no trecho alto da sub-bacia do ribeirão Graipu (Guanhães/ MG) utilizando abordagem de Avaliação Ecológica Rápida (RAP) e bioindicadores bentônicos de qualidade de água.

2.1 Objetivos específicos

- Elaborar mapas de localização da sub-bacia, incluindo uso e ocupação do solo, tipo de vegetação e biomas;
- Elaborar Protocolo Tecnológico de Aplicação – Procedimento Operacional Padrão incluindo propostas de revitalização e recuperação do trecho alto do ribeirão Graipu;
- Caracterizar a qualidade ecológica do trecho alto da sub-bacia do Graipu utilizando bioindicadores bentônicos de qualidade de água;
- Subsidiar o desenvolvimento de um programa de biomonitoramento com macroinvertebrados bentônicos e atividades de educação ambiental.

3 HIPÓTESE

- Os impactos pontuais e difusos que incluem, atividades minerárias, pastagens e poluição orgânica devido ao lançamento de efluentes domésticos no alto ribeirão Graipu, afetam negativamente a qualidade de água e a diversidade de macroinvertebrados bentônicos. Foi previsto que: (a) trechos de rios minimamente alterados por atividades humanas possuem maior diversidade de habitats e maior abundância de bioindicadores bentônicos sensíveis e tolerantes a poluição (p.ex. Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera); (b) trechos de rios severamente impactados por atividades antrópicas têm pior qualidade de água, reduzida diversidade de habitats, onde são encontradas maior abundância de bioindicadores bentônicos resistentes à poluição (p.ex. Chironomidae e Oligochaeta).

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Crise hídrica e os impactos ambientais em ecossistemas de água doce

Os ecossistemas aquáticos de água doce estão entre os ambientes que mais são influenciados negativamente pelas ações humanas (CALLISTO et al., 2019a; DUDGEON et al., 2006). As atividades antrópicas vêm alterando a qualidade e as características físicas, químicas e biológicas das águas (GARCIA et al., 2018; HEPP et al., 2007), levando à contaminação e modificação desses locais (CALLISTO; GONÇALVES; MORENO, 2018).

O Brasil possui a maior reserva aquífera do mundo, detendo 12% de toda a água doce do planeta (FISCHER et al., 2021). Contudo, sua população enfrenta restrições devido à escassez hídrica que atinge cerca de 35 milhões de pessoas (Silva et al., 2021). Além dos efeitos de mudanças no clima, há carência de políticas públicas que priorizem a igualdade e acessibilidade deste bem natural à toda população no país (RIBEIRO; SANTOS; SILVA, 2019).

A deterioração de ecossistemas de água doce vem ocorrendo de forma acelerada no Brasil e no mundo (ANA, 2012; Cirilo, 2015; Cunha, 2020). Os impactos dessa degradação têm reflexos nas esferas econômica, social e ambiental (CUNHA, 2020; GALVÃO; BERMANN, 2015). Por conseguinte, a demanda global por água continuará aumentando substancialmente, e isso representará um acréscimo de 20 a 30% na demanda por esse recurso (BUREK et al., 2016). É previsto que até o ano de 2050 um quarto da população mundial viva em situação de escassez crônica por falta de água potável (CETESB, 2022; CHRISTOFIDIS, 2003).

As discussões atuais sobre a redução do recurso água de boa qualidade e acessível vão além da escassez hídrica propriamente dita, envolvendo também questões éticas e culturais (CASTRO, 2007), além de ações relacionadas à má gestão e distribuição do recurso (RIBEIRO; SANTOS; SILVA, 2019). O uso inadequado dos recursos hídricos promove, além da perda de diversidade biológica (Martins et al., 2020), um crescente número de doenças de veiculação hídrica (Silva et al., 2021) e aumento do custo de tratamento de água para consumo humano (FISCHER et al., 2016).

Mudanças no uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas urbanas e peri-urbanas interferem no fluxo de energia, nos habitats físicos e, por conseguinte, na

diversidade de comunidades bentônicas (Allan, 2004; Macedo et al., 2014). Tornando necessário, intervenção e implementação de projetos de revitalização que assegurem a regularização das vazões e a melhoria da qualidade de água (CASTILHO et al., 2010). Cursos d'água em áreas urbanas sofrem o lançamento de efluentes domésticos *in natura*, remoção da vegetação ripária e degradação de habitats (DUDGEON et al., 2006), tendo como resultado a deterioração e a simplificação dos ecossistemas aquáticos (CALLISTO et al., 2019a).

Em síntese, a pressão por atividades humanas causa distúrbios nos ecossistemas, reduzindo a disponibilidade de água, deteriorando sua qualidade, limitando condições para a vida aquática (CALLISTO et al., 2019a; MORAIS et al., 2017), reduzindo a disponibilidade de bens e serviços ecossistêmicos às populações humanas (Feio et al., 2021) que vivem em bacias hidrográficas no país. Problemas urgentes de fornecimento de água e regulação do microclima local (DUDGEON, 2010; DUDGEON et al., 2006), tornam imprescindível a aplicação de uma gestão integrada, limitando impactos de múltiplos usos antrópicos em bacias hidrográficas e seus tributários (BARBOUR; FAULKNER; GERRITSEN, 1999; GARCIA et al., 2018).

4.2 Programas de biomonitoramento em bacias hidrográficas

O biomonitoramento é uma ferramenta utilizada para avaliar a integridade biótica de bacias hidrográficas, tendo como principal objetivo avaliar as pressões antrópicas sobre os ecossistemas aquáticos (Callisto et al., 2019; Karr, 1999). Atualmente, indicadores biológicos são utilizados no monitoramento ambiental em escala continental, evidenciando o seu potencial em programas de monitoramento em países como o Brasil (CALLISTO et al., 2019b). Para isto, é necessário que sejam aprimorados o chamado marco legal brasileiro, pois enquanto que nos EUA e Europa o biomonitoramento é uma ferramenta obrigatória (CALLISTO et al., 2019a), no Brasil é apenas opcional nos processos de avaliação de qualidade de cursos hídricos (BRASIL, 2005).

Além disso, as técnicas e métricas aplicadas em programas de biomonitoramento são, em geral, mais eficientes do que em comparação a parâmetros físicos e químicos individualmente, pois possuem uma maior sensibilidade permitindo diagnóstico mais preciso da integridade ecológica do ecossistema aquático analisado (Callisto et al., 2019; Thompson et al., 2008).

Um programa de biomonitoramento de bacias hidrográficas deve conter, ao menos,

cinco fases (CALLISTO; GONÇALVES; MORENO, 2018): (i) definição e avaliação de uso e ocupação do solo; (ii) planejamento e execução do desenho amostral; (iii) comparação e calibração de dados obtidos; (iv) avaliação de banco de dados / compilação de resultados, e; (v) análise e interpretação de resultados para tomada de decisão. Além disso, são avaliados parâmetros bióticos e abióticos subsidiando a avaliação de comunidades sensíveis e tolerantes a impactos antrópicos em ecossistemas aquáticos e suas bacias hidrográficas (STARK et al., 2001). Esses programas utilizam diferentes métricas, características biológicas e ecológicas por meio de índices multimétricos, levando em conta aspectos espaciais e/ou temporais com objetivo de utilizar as respostas biológicas para avaliar mudanças no ambiente (Callisto et al., 2019a; Rosenberg & Resh, 1993).

Peixes e macroinvertebrados bentônicos são os grupos de organismos mais utilizados em programas de biomonitoramento em todo o mundo (BONADA et al., 2006; MUGNAI; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2010). Ambos apresentam respostas a impactos ambientais múltiplos e/ou específicos, difusos ou pontuais, viabilizando respostas rápidas sobre causa-efeito frente a estressores ambientais através de mudanças na composição e estrutura de comunidades em resposta a essas alterações (BARBOUR; FAULKNER; GERRITSEN, 1999; CALLISTO et al., 2019a; DALE; BEYELER, 2001; ROSENBERG; RESH, 1993; THOMPSON; THOMPSON; WITHERS, 2008).

4.3 Ferramentas aplicadas ao biomonitoramento

Uma ferramenta importante para caracterizar a descrição geral de ecossistemas aquáticos, diversidade de habitats e integridade de zonas ripárias, é a utilização de protocolos de avaliação de habitats físicos (CALLISTO et al., 2002). Esses protocolos levam em consideração uma análise integrada dos ecossistemas aquáticos, por meio de uma metodologia simples e de rápida aplicação (RODRIGUES; MALAFAIA; CASTRO, 2008). Permitem avaliar estrutura e funcionamento de ecossistemas de água doce, e podem subsidiar ações de manejo e conservação (VARGAS; JÚNIOR, 2012). A utilização dessa metodologia pode ser um instrumento importante em programas de monitoramento ambiental, uma vez que permite respostas rápidas e diagnóstico mais preciso do ambiente (GALDEAN; CALLISTO; BARBOSA, 2000).

Em avaliações ecológicas rápidas (RAP), o cálculo de métricas biológicas de estrutura de comunidades e funcionamento de ecossistemas é utilizado para diagnosticar

condições ecológicas em bacias hidrográficas (Callisto et al., 2021; Fernandes et al., 2022). Os resultados obtidos são importantes para subsidiar propostas de medidas de gestão de recursos hídricos, conservação de biodiversidade, bens e serviços ecossistêmicos (CALLISTO; GONÇALVES, 2002).

4.4 Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água

Macroinvertebrados bentônicos habitam o fundo de ecossistemas aquáticos durante pelo menos parte de seu ciclo de vida, estando associados aos mais diversos tipos de substratos, tanto orgânico (folhiço, macrófitas aquáticas), quanto inorgânicos (cascalhos, areia, rochas, etc.) (GOULART; CALLISTO, 2003).

Esses organismos são utilizados como ferramenta bioindicadora em programas de biomonitoramento e estudos ecológicos em ecossistemas aquáticos (RESH, 2008). Esses organismos atendem a critérios importantes, incluindo: (a) são organismos de fácil mensuração; (b) possuem sensibilidade a estressores; (c) apresentam respostas previsíveis a estressores antropogênicos; (d) por meio de respostas biológicas, apresentam uma antecipação de mudanças no ambiente; (e) apresentam uma previsibilidade de mudanças que possam ser evitadas por ações de manejo; (f) demonstram uma integração com as mudanças ao longo de gradientes ambientais; (g) apresentam respostas de fácil compreensão sobre distúrbios naturais de origem antrópica; (h) apresentam baixa variabilidade de resposta a estressores (DALE; BEYELER, 2001).

O atendimento a esses critérios os coloca em uma posição de vantagem em relação aos métodos tradicionais que utilizam apenas parâmetros abióticos para avaliação de condições ecológicas (KARR, 1999). As respostas observadas nessas comunidades refletem uma variação temporal de efeitos de pressões e estressores de origem antrópica em ecossistemas aquáticos (HOLT, 2010). Quando expostos a algum estressor, esses organismos apresentam respostas biológicas em curto prazo (Armon; Hänninen, 2015). Essas respostas devem-se aos mecanismos de absorção oral, epidérmica e branquial que eles possuem, apresentando respostas rápidas e sensíveis (ADAMS; GREELEY, 2000), oferecendo um diagnóstico mais assertivo das condições ecológicas em ecossistemas aquáticos (ROSENBERG; RESH, 2013).

Macroinvertebrados bentônicos oferecem vantagens como bioindicadores de pressões antrópicas em ecossistemas aquáticos pelas seguintes razões: (a) são ubíquos e

com isso podem ser afetados pelo efeito de pressões antrópicas sobre os ecossistemas aquáticos; (b) apresentam alta riqueza de táxons com diferentes níveis de sensibilidade a estresse; (c) são relativamente sésseis, o que permite analisar o efeito do estresse em escala espacial; (d) apresentam ciclo de vida relativamente longo, permitindo avaliar o efeito negativo nos ecossistemas aquáticos em escala temporal (Rosenberg & Resh, 1993).

Conforme sua tolerância a adversidades ambientais, os macroinvertebrados bentônicos são classificados em três principais grupos: sensíveis ou intolerantes, tolerantes e resistentes (FRANÇA; CALLISTO, 2019; GOULART; CALLISTO, 2003). A qualidade da água, infere diretamente sobre esses grupos bentônicos, apresentando respostas mediante as alterações das comunidades por meio da observação de uma baixa riqueza e abundância de táxons sensíveis e uma elevada abundância de táxons tolerantes e resistentes (CALLISTO; GOULART; MORETTI, 2001; KING; BAKER, 2014).

O grupo dos organismos sensíveis é formado principalmente por larvas de insetos aquáticos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, também conhecidos como EPT. São organismos que vivem, preferencialmente, em águas limpas e oxigenadas, e geralmente são encontrados em ambientes com alta diversidade de habitats (GOULART; CALLISTO, 2003).

O segundo grupo de bioindicadores, os tolerantes, é composto principalmente por representantes das ordens Heteroptera, Odonata e Coleoptera. Esse grupo de organismos consegue suportar alterações moderadas quanto à disponibilidade de oxigênio, pois alguns Heteroptera, adultos de Coleoptera e alguns Gastropoda utilizam o oxigênio atmosférico (GOULART; CALLISTO, 2003). Este grupo inclui macroinvertebrados predadores, e é um grupo muito importante na manutenção da estrutura das cadeias alimentares aquáticas (CALLISTO; GOULART; MORETTI, 2001).

O terceiro grupo, os bioindicadores resistentes à poluição, é formado principalmente por larvas de Chironomidae (Diptera) e toda a subclasse Oligochaeta. Esses organismos são capazes de viver em condições de hipóxia ou anoxia (baixo oxigênio ou sua ausência) por várias horas (GOULART; CALLISTO, 2003). A degradação ambiental nos ecossistemas aquáticos causa, além da perda de diversidade de habitats para proteção e alimento dos organismos ali presentes, a desestruturação de cadeias alimentares devido à eliminação de predadores, favorecendo a manutenção dos grupos resistentes a degradação ambiental (MORENO; CALLISTO, 2010).

Os macroinvertebrados bentônicos possuem diferentes relações tróficas, e podem ser classificados de acordo com seus hábitos alimentares, baseados em características morfológicas e comportamentais (Cummins et al., 2005; Ferreira et al., 2015; Merritt et al., 2014; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014; Rosenberg & Resh, 1993; Santos & Rodrigues, 2015). Cada grupo utiliza recursos alimentares disponíveis nos habitats aquáticos, como: os raspadores alimentam-se de algas perifíticas, os fragmentadores alimentam-se de detritos foliares que caem das árvores, os coletores-catadores coletam partículas finas de matéria orgânica depositada, os coletores-filtradores filtram partículas finas transportadas pela correnteza e, finalmente, os predadores alimentam-se de outros animais, inteiros ou suas partes.

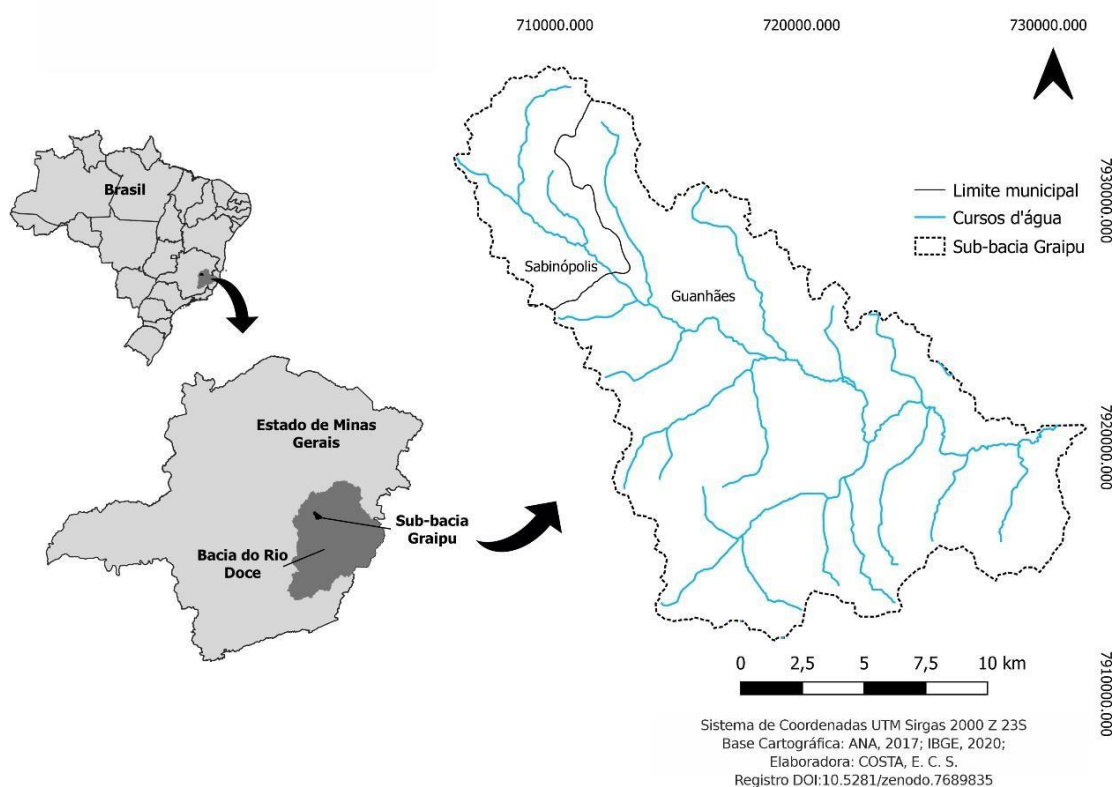
A diversidade taxonômica e as funções ecológicas dos macroinvertebrados bentônicos em cadeias alimentares e cadeias de detritos caracterizam a importância desses organismos em ecossistemas aquáticos. Portanto, são um componente essencial para o bom funcionamento ecológico de ecossistemas aquáticos, apresentando respostas específicas de condições ambientais adversas, passadas ou existentes (ADAMS; GREELEY, 2000).

5 METODOLOGIA

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia do ribeirão Graipu está localizada entre os municípios de Guanhães e Sabinópolis, na região centro-nordeste de Minas Gerais, mesorregião do Vale do Rio Doce, em uma altitude de 852 m, com população de 34.818 habitantes (IBGE, 2022). A sub-bacia do ribeirão Graipu é um importante tributário na bacia do rio Corrente Grande, que por sua vez, está inserido na grande bacia hidrográfica do rio Doce (ANA, 2017; IBGE, 2020) (Fig.1).

Figura 1- Localização da sub-bacia do ribeirão Graipu na sub-bacia do rio Doce (ANA, 2017; IBGE, 2020).

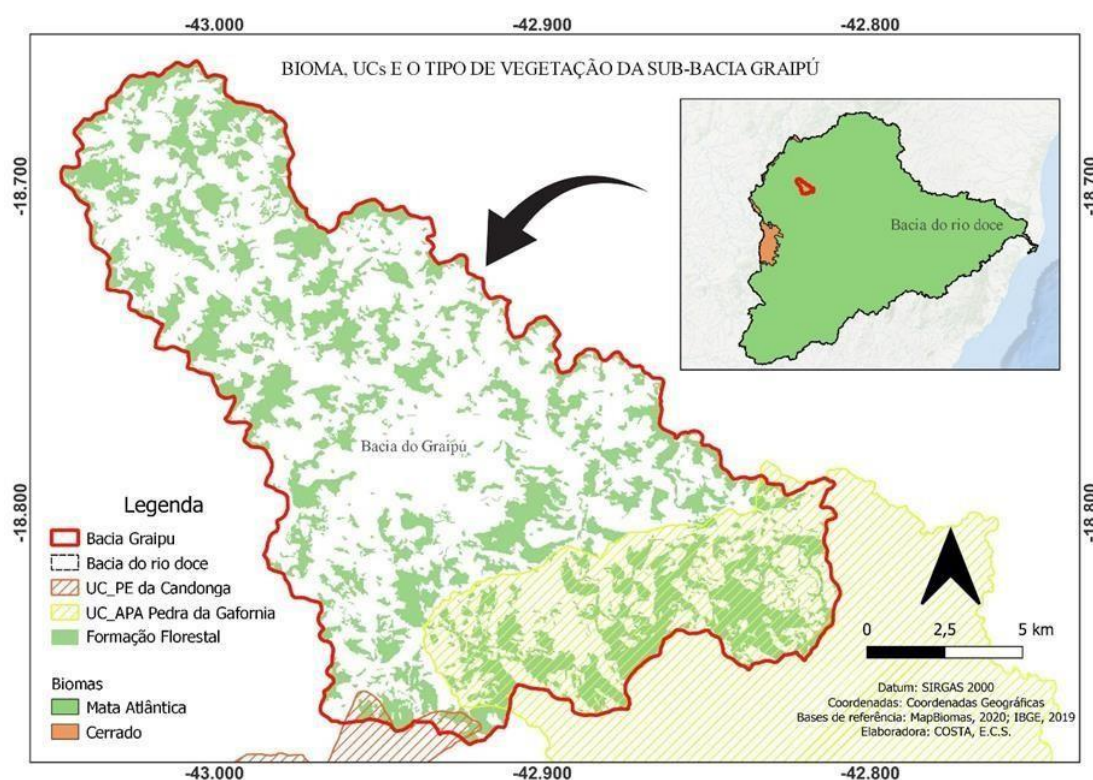


Fonte: ANA, 2014; IBGE, 2005.

O solo na região é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) em que a textura é média argilosa em sua maior porção, e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) com textura argilosa (IBGE, 2019). A sub-bacia possui área de 26.641,23 ha (MAPBIOMAS, 2020), incluindo 202 nascentes (IGAM, 2020a), com um total de 2.303,49 ha de Áreas de Preservação Permanentes (APPs).

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região possui clima predominantemente tropical chuvoso savânico (Aw), com inverno seco e chuvas abundantes no verão (TONELLO et al., 2009). A precipitação média anual é de 1.212 mm e a temperatura média de 22,2° C (SOUZA et al., 2006), inserida no bioma Mata Atlântica (IBGE, 2019). Este bioma é considerado um importante “hotspot” de biodiversidade, devido à elevada riqueza e abundância de espécies endêmicas e em risco de extinção (Myers et al., 2000; Figura 2). A fitofisionomia original era formada predominantemente por floresta estacional semidecidual, que vem sendo convertida em áreas de pastagens (LEITE et al., 1997).

Figura 2- Delimitação da sub-bacia inserida no bioma Mata Atlântica, localização das UC's e tipos de vegetação na cobertura do solo (MapBiomias, 2020).



Fonte: MapBiomias 2020; IBGE, 2019.

5.2 Desenho amostral

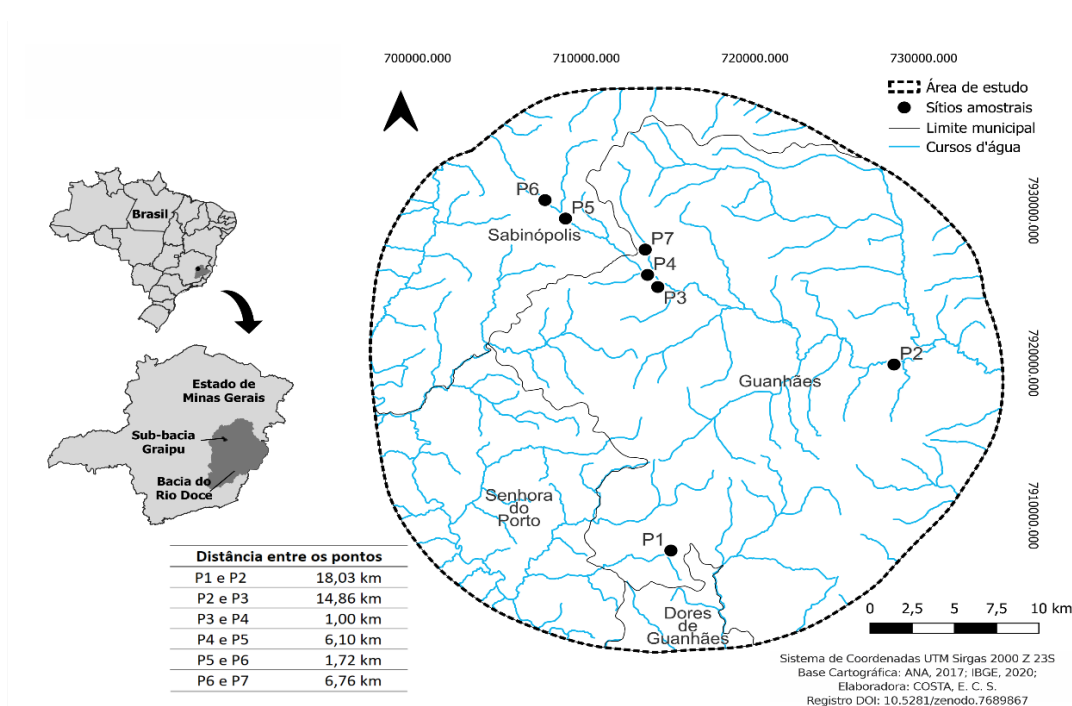
Foram definidos sete sítios amostrais em trechos de riachos na porção superior da sub-bacia do ribeirão Graipu como área de estudo. Um deles pertence à porção média do ribeirão Graipu, abrangendo a área de Reserva Legal da Cenibra, e o outro pertence à sub-bacia do Rio Guanhões localizado no interior do Parque Estadual Serra da Candonga (PESC), abrangendo os principais pontos de monitoramento e de relevância para o SAAE (Tabela 1).

Tabela 1- Identificação e coordenadas geográficas dos sítios amostrais na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, MG, abril/2022.

Sítios amostrais	Códigos	Coordenadas
Parque Estadual Serra da Candonga	P1	-18.911644°; -42.958525°
Reserva Legal CENIBRA	P2	-18.912214°; -42.931331°
Captação SAAE	P3	-18.755664°; -42.967789°
Jusante Santa Cruz	P4	-18.748553°; -42.973628°
Mineração	P5	-18.715692°; -43.020103°
Área rural (Graipu-Pinheiros)	P6	-18.704875°; -43.031747°
Montante Santa Cruz	P7	-18.733575°; -42.975119°

As amostragens foram realizadas em uma campanha de campo em período chuvoso, no mês de abril de 2022, durante três dias. Foram definidos sete sítios amostrais no trecho alto da sub-bacia, Parque Estadual Serra da Candonga e Reserva Legal da Cenibra (Fig. 3).

Figura 3- Distribuição dos sítios amostrais na área de estudo (ANA, 2017; IBGE, 2020).



Fonte: ANA, 2017; IBGE, 2020.

5.3 Caracterização dos sítios amostrais

O sítio amostral P1 está localizado em uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral denominada Parque Estadual Serra da Candonga (PESC), com 3.302,66 ha de áreas preservadas e que tem por finalidade proteger a fauna, flora, nascentes de rios e córregos na região (Fig. 4 A). Essa área pertence à sub-bacia do rio Guanhães.

O sítio amostral P2 está localizado em uma reserva legal da empresa Celulose Nipo-Brasileira S/A (Cenibra), que mantém plantação de eucalipto em uma área de 350 ha (Fig. 4 B). Essa área pertence à porção média do ribeirão Graipu sendo afluente do rio Corrente Grande que desagua na margem esquerda do rio Doce (TONELLO et al., 2009). O sítio amostral P3 está situado no ribeirão Graipu, a jusante da barragem de captação de água bruta do SAAE (Fig. 4 C). O sítio amostral P4 está localizado em uma área rural a montante do Córrego Santa Cruz, afluente do ribeirão Graipu, antes da Barragem de Acumulação do SAAE, sendo a área caracterizada pela prática de pastejo e dessedentação do gado (Fig. 4 D). O sítio amostral P5 que faz parte do ribeirão Graipu, está localizado nas proximidades da portaria da Minas Mineração Guanhães LTDA. Neste local é possível observar o tráfego de veículos pesados, material particulado proveniente da mineradora e descartes de efluentes domésticos (Fig. 4 E). O sítio amostral P6 fica localizado em uma área rural da comunidade Pinheiros, próximo à nascente do ribeirão Graipu. Esse curso d'água atravessa uma propriedade particular e é caracterizado pelo descarte de efluentes sanitários (Fig. 4 F). O sítio amostral P7 está localizado à montante do córrego Santa Cruz, antes da barragem de acumulação. Este local é caracterizado por receber efluentes sanitários (Fig. 4 G).

Figura 4- (A) P1: PESC; (B) P2: Reserva Legal da Cenibra; (C) P3: barragem de captação de água bruta do SAAE; (D) P4: área rural à montante do Córrego Santa Cruz; (E) P5: Minas Mineração Guanhões LTDA; (F) P6: área rural da comunidade Pinheiros; (G) P7: montante do córrego Santa Cruz.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.4 Coleta de bioindicadores bentônicos

As amostras de macroinvertebrados bentônicos foram coletadas utilizando um amostrador do tipo rede em “D” (30 cm de abertura, malha 500 μm , área de 0,09m²) acoplado a um cabo metálico de 1,5 m (Fig. 5 A; B). Todo material coletado foi transferido para sacos plásticos identificados por sítio amostral, e fixados com álcool etílico 70% (Fig. 5 C).

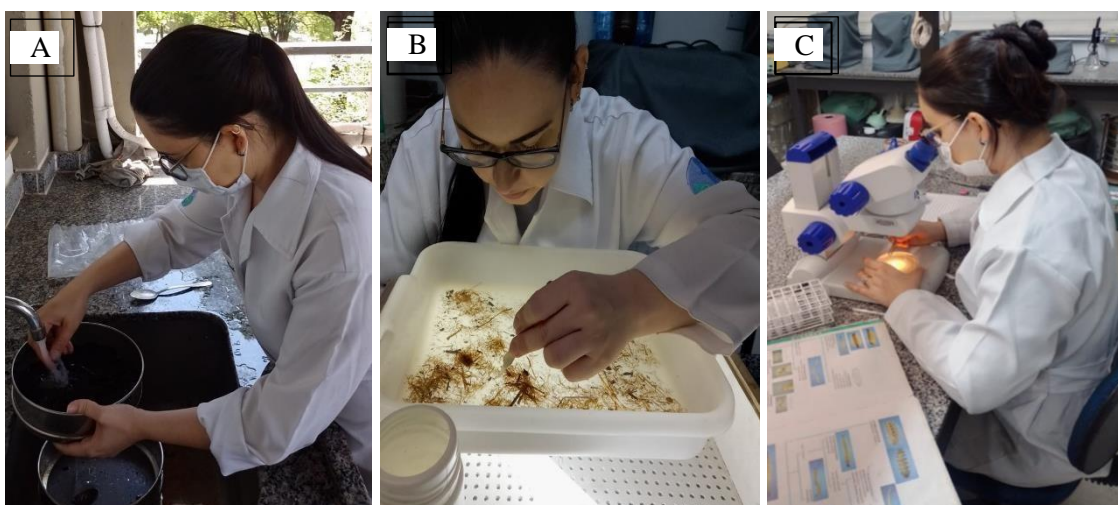
Figura 5- Coleta de macroinvertebrados bentônicos em campo utilizando amostrador do tipo rede em “D”, na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC E R.L Cenibra, MG, abril/2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

Após coletadas as amostras foram levadas para processamento no Laboratório de Ecologia de Bentos, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte. As amostras foram lavadas sobre peneira de malha de 500 μm (Fig. 6 A) e, em seguida, transferidas para uma badeja branca sobreposta a uma caixa de luz (Fig. 6 B). Os macroinvertebrados foram triados e identificados (Fig. 6 C). A classificação foi realizada até o nível de família (exceto para subclasse Annelida e ordem Acari). As identificações foram realizadas com o auxílio de chaves taxonômicas (HAMADA; THORP; ROGERS, 2018; MUGNAI; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2010). Os táxons identificados foram preservados em álcool etílico 70%, em tubos de ensaio invertidos e tampados com algodão, acondicionados em um recipiente de vidro com álcool 70%. Os organismos foram depositados na Coleção de Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, segundo metodologia proposta por França & Callisto (2007).

Figura 6- (A) Lavagem de amostras; (B) Triagem de amostras com auxílio da caixa de luz; (C) Triagem de amostras com auxílio da lupa estereoscópica para classificação das famílias.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.5 Avaliação Ecológica Rápida

5.5.1 Aplicação do Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida de Diversidade de Hábitats

Para caracterização rápida da diversidade de habitat foi utilizado o “Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida de condições ecológicas e diversidade de habitats em trechos de sub-bacias hidrográficas”, proposto por Callisto et al. (2002). Nesse protocolo foram analisadas: profundidade do canal, largura da área molhada, tipo do substrato, fluxo, presença/ausência de cobertura vegetal, tipo de vegetação ciliar e influência antrópica (presença de construções, pasto, agricultura, rodovias, lixo, etc.). Foram avaliados 22 parâmetros sendo que 10 são pontuados em uma escala de 0 a 4 (Anexo A- Quadro 1), e os outros 12 em uma escala de 0 a 5 (Anexo A- Quadro 2). Quanto menor a influência de atividades antrópicas, maiores são os valores atribuídos. Pontuações entre 0 e 40 indicam trechos impactados, valores entre 41 e 60 trechos alterados, e valores acima de 60 pontos, representam trechos em condições de referência (Callisto et al., 2002).

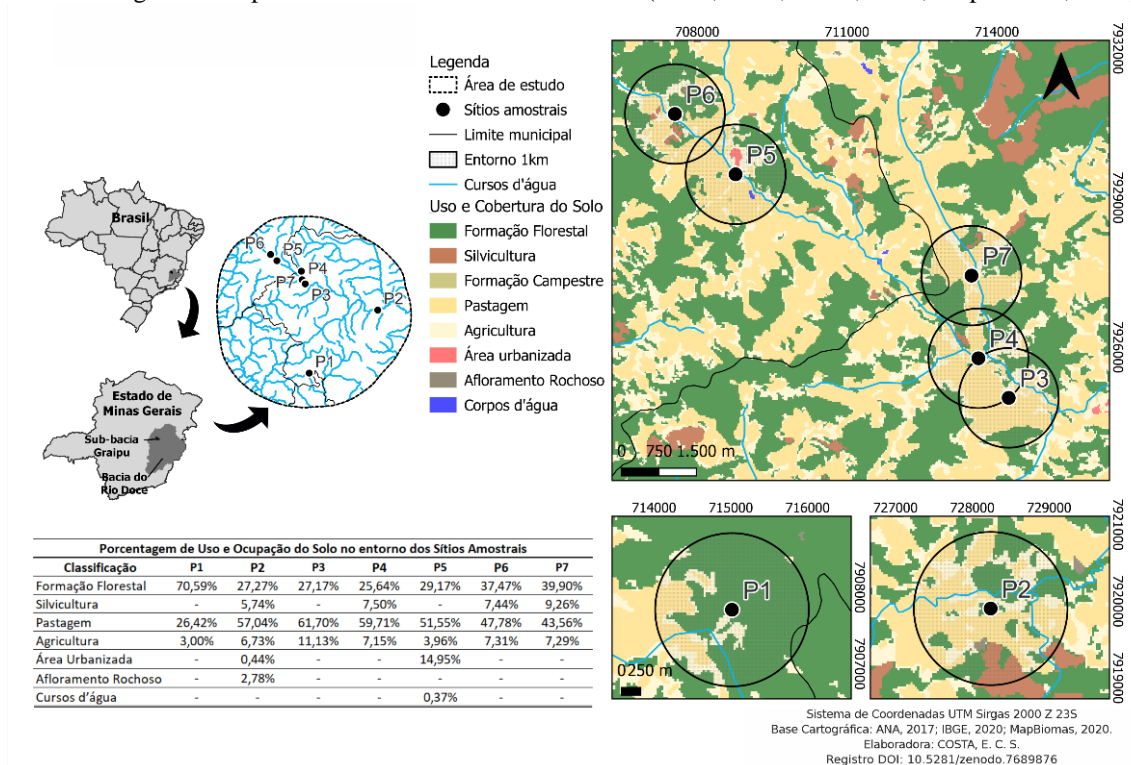
5.5.2 Uso e cobertura do solo

Para avaliação do uso e cobertura do solo foram utilizados os dados disponíveis nos sites do MapBiomas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Agência Nacional das Águas (ANA). Foram obtidos dados de estrutura da paisagem, formação florestal, cursos d’água, áreas de pastagem, agricultura, urbanização para classificação dos diferentes distúrbios antrópicos nas sub-bacias dos sítios amostrados. Os mapas e

todas as operações do sistema de informação geográfica foram realizados utilizando o Software Qgis (versão 3.22.10).

Foram definidas áreas de *buffer* para obtenção de métricas dos índices de Distúrbio Local (LDI), Distúrbio na Sub-bacia de Drenagem (CDI) e Distúrbio Integrado (IDI) (LIGEIRO et al., 2013), delimitado um raio de 1km em cada sítio amostral na área de estudo (Fig. 7).

Figura 7- Mapeamento do uso e cobertura do solo (ANA, 2017; IBGE, 2020; MapBiomas, 2020).



Fonte: Elaborado pela autora.

O Índice de Distúrbio Local (LDI) foi calculado utilizando a métrica *w1_hall* conforme descrito em Kaufmann et al. (1999), e com base no quadro 1 do Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida da Diversidade de Habitats de Callisto et al. (2002) que reflete os tipos de ocupação nas margens dos sítios amostrais, presença de erosão, alterações antrópicas, cobertura vegetal e aspectos físicos e químicos do sítio amostrado.

Para cálculo do Índice de Distúrbio na bacia de drenagem (CDI) foram considerados os percentuais de pastagem, agricultura e urbanização (LIGEIRO et al., 2013), aplicados à fórmula:

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

Após a obtenção dos valores de pressões antropogênicas nas escalas local (LDI) e da

bacia (CDI) foi possível calcular o Índice de Distúrbio Integrado (IDI) conforme proposto por Ligeiro et al. (2013). O IDI foi calculado como a distância euclidiana da posição do sítio em um plano de perturbação baseados nos valores obtidos pelo CDI e LDI por meio do teorema de Pitágoras (LIGEIRO et al., 2013). Para cada índice, quanto maior o valor calculado no sítio amostral, maior é a intensidade de modificações e impactos antrópicos no local. Dessa forma, o gradiente de perturbação foi definido de forma ascendente considerando os valores de IDI nos sete sítios amostrais.

5.5.3 Análise de dados

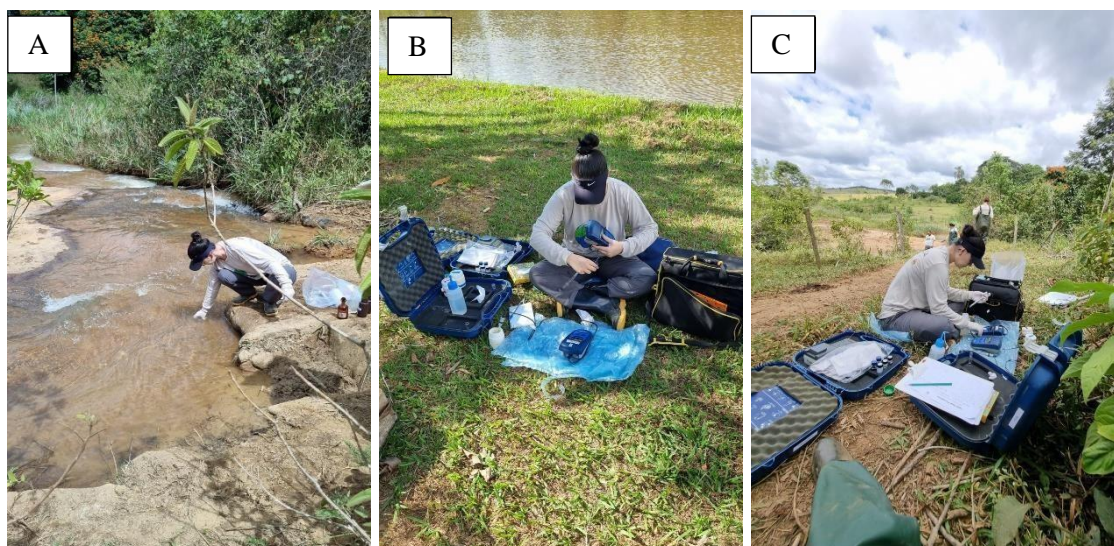
Para testar se os impactos antrópicos em escala local, afetam de forma mais severa a qualidade de água e a diversidade de macroinvertebrados bentônicos do que distúrbios em escala regional foram realizadas análises de correlação ente cada índice de distúrbio (IDI, LDI e CDI) e cada índice biótico (riqueza taxonômica, abundância de indivíduos (Nº/ind), BMWP, BMWP/ASPT, índice EPT, organismos resistentes, índices MMI de Macedo et al., 2016 e Silva et al., 2017). Os modelos então foram testados com análises de desvio, através de testes “T” ou “Chi Quadrado”, de acordo com a distribuição da variável resposta. Todos os testes foram realizados por meio do software R versão 4.2.1 (R Core Team 2015).

5.5.4 Parâmetros físicos e químicos de qualidade de água

Em cada sítio amostral foram mensurados os parâmetros: temperatura (°C), potencial hidrogeniônico (pH) (Digimed DM-2P), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Digimed DM-3P), turbidez (UNT) (Digimed DM-TU), sólidos totais dissolvidos (ppm) (Fig. 8 A; C). O parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L e % saturação) foi obtido por meio do método de Winkler segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Além disso, foram coletadas amostras de água em garrafas de polipropileno para análises de nitrogênio total (N) e fósforo total (P) (Fig. 8B), e analisadas no laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos do Departamento de Geografia no Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. As amostras de DBO foram analisadas pelo laboratório de análises físico-químicas e qualidade da água do SAAE-Guanhães. Todos os protocolos seguiram criteriosamente as determinações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Figura 8- Coleta e mensuração de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC E R.L Cenibra, MG, abril/2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos em cada parâmetro analisado, foram comparados ao valor máximo permitido (VMP), instituídos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) resolução 357 de maio de 2005, Conselho Estadual de Política Ambiental / Conselho Estadual de Recursos hídricos de Minas Gerais (COPAM/CERH-MG) deliberação Normativa Conjunta Nº 8, de 21 de novembro de 2022 e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Que tem por finalidade, classificar corpos hídricos quanto a classe de qualidade ambiental, que são determinados a partir dos valores de referência de parâmetros físico-químicos de acordo com os usos preponderantes (BRASIL, 2005, 2022; CETESB, 2009).

5.5.5 Coletas de sedimentos

Em cada um dos sete sítios amostrais foram coletadas 3 amostras de sedimento utilizando um amostrador do tipo rede em “D” (abertura de 30 cm, malha de 500 μm e área coletada de 0,09 m^2) para análise quantitativa de macroinvertebrados bentônicos. Uma quarta amostra de sedimentos foi coletada em frascos de polipropileno com volume de 300mL, para determinação dos teores de matéria orgânica e composição granulométrica.

5.5.6 Análise granulométrica e determinação de teores de matéria orgânica

A composição granulométrica dos sedimentos foi avaliada utilizando um agitador eletromagnético de peneiras para teste analítico (marca Produtest), com peneiras de

malhas entre 4 mm a 0,063 mm, que permitem quantificar cinco frações: cascalho (4mm), areia muito grossa (2 mm), areia grossa (1 mm), areia média (0,5 mm), areia fina (0,25 mm), areia muito fina (0,063 mm) e silte /argila (menor que 0,063 mm) (Fig. 9 A). Após o processo de peneiramento, cada fração de sedimento retida em cada peneira foi pesada em uma balança de precisão (0,01g).

A análise granulométrica dos sedimentos foi realizada no laboratório de Ecologia de Bentos do ICB/UFMG, seguindo a metodologia de peneiramento proposta por Suguio (1973), modificada por Callisto & Esteves (1996).

Os teores de matéria orgânica foram determinados pelo método de gravimetria em que foram padronizadas e pesadas alíquotas de 0,3g de amostra, incineradas por um período de 4 horas em forno mufla a 550°C. A diferença entre o peso inicial da amostra e o peso final (após a incineração) fornece a porcentagem de matéria orgânica contida na amostra (Fig. 9 B).

Figura 9- (A) Agitador eletromagnético e peneiras com amostras para análise granulométrica; (B) pesagem das alíquotas de amostras a serem incineradas para cálculo de teor de matéria orgânica.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.6 ÍNDICES BIÓTICOS

Com o objetivo de avaliar a estrutura taxonômica das comunidades bentônicas foram calculados os índices de riqueza taxonômica, abundância de indivíduos, diversidade de Shannon-Wiener, Simpson e equitabilidade de Pielou (MAGURRAN,

1999, 2013) utilizando o software R versão 4.2.1 (R Core Team 2015). A composição taxonômica, índices BMWP e BMWP-ASPT (JUNQUEIRA et al., 2018; MONTEIRO; OLIVEIRA; GODOY, 2008), EPT, razão EPT / Chironomidae, % Chironomidae, % Chironimidae / Oligochaeta, classificação sensíveis, tolerantes e resistentes, riqueza de EPT's, riqueza de organismos resistentes e grupos funcionais de alimentação (GFA) (Callisto et al., 2021; Carrera & Fierro, 2018; Junqueira et al., 2000; Merritt et al., 2014; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014; Santana & Dantas, 2014) foram calculados para cada um dos sítios analisados. Foram também calculados os padrões de dispersão (Odum & Barrett, 2007, 2008) e índices multimétricos (MMI) propostos por Macedo et al. (2016) e Silva et al. (2017).

5.6.1 Padrões de distribuição

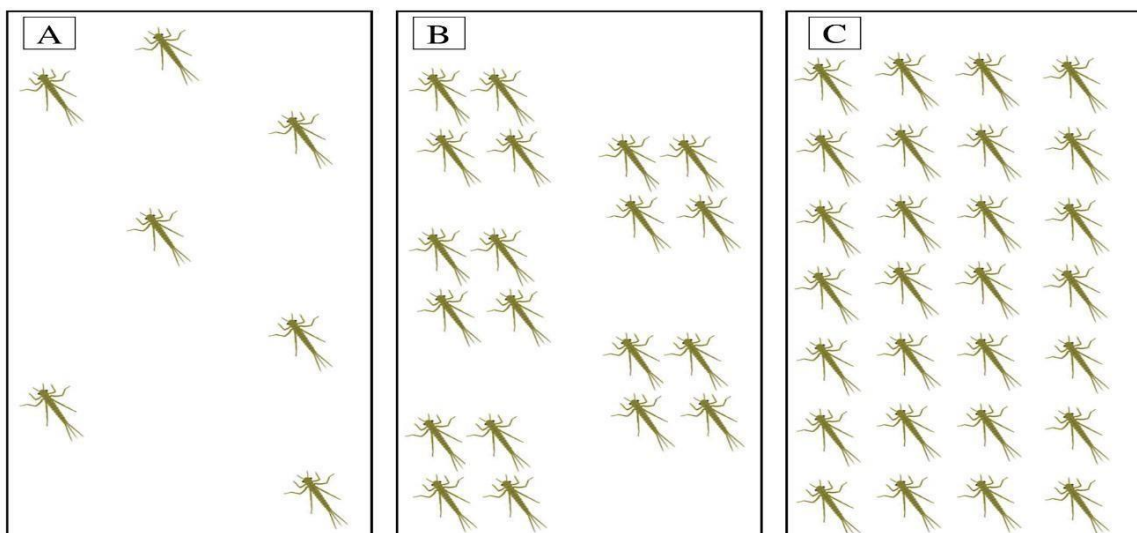
Os padrões de dispersão de organismos podem ser entendidos como a distribuição de espécies e adaptação a um determinado habitat (PAZINI, 2012). A forma de dispersão no habitat pode ser bem diferente entre as espécies e entre populações de uma mesma espécie (Fernandes, 2019). Essa variação pode ocorrer em função de fatores ambientais ou genéticos da população (KUCHLER; MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). A dispersão de organismos também pode ser chamada de distribuição espacial, arranjo espacial ou padrões de dispersão, que contém padrões de distribuição incluindo: aleatório ou ao acaso, uniforme ou regular e agregado ou contagioso (ODUM; BARRETT, 2008).

Na distribuição **aleatória**, supõe-se uma homogeneidade ambiental em que o ambiente é uniforme e não há tendência de se agregarem (ODUM; BARRETT, 2008). De forma geral, são espécies mais solitárias e/ou que se agrupam somente na época do acasalamento (KUCHLER; MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974) (Fig. 10A). Na distribuição **agregada**, as assembleias estão agregadas nas regiões mais favoráveis dos habitats, caracterizando um ambiente com maior heterogeneidade de espécies sociais ou gregárias, vivendo de forma agregada ou em manchas (HANASHIRO, 2010; SOUSA; COMINOTE; MORETTI, 2014) (Fig.10 B).

A distribuição **uniforme ou regular**, é caracterizada por ambientes mais homogêneos e com a presença de espécies territorialistas, onde as interações são negativas, como por exemplo, competição por nutrientes ou espaço, e que resultam em um espaçamento uniforme (HANASHIRO, 2010; SOUSA; COMINOTE; MORETTI, 2014) (Fig. 10 C). Esse tipo de distribuição pode ocorrer quando a competição entre indivíduos

é severa ou quando há antagonismo positivo que promova espaçamento uniforme (ODUM; BARRETT, 2008).

Figura 10- (A) Distribuição aleatória; (B) Distribuição agregada; (C) Distribuição uniforme.



Fonte: Elaborado pela autora.

O cálculo do padrão de distribuição dos macroinvertebrados nos sítios amostrais foi realizado a partir dos valores de média e desvio padrão de cada amostra, para cada família pontuada, por sítio amostrado. A classificação foi determinada conforme a tabela 2.

Tabela 2- Classificação de padrões de dispersão.

Padrões de dispersão	
Uniforme	$X = S^2$
Agregado	$X < S^2$
Aleatória	$X > S^2$






(Faria, 2008; Fernandes, 2019).

5.6.2 Índices BMWP e BMWP-ASPT

Para avaliar a qualidade biológica das águas nos sítios amostrais foram utilizados os índices *Biological Monitoring Working Party Score System* (BMWP) e *Average Score per Taxon* (ASPT). Esses índices têm por finalidade avaliar a presença de famílias de macroinvertebrados bentônicos considerando o grau de tolerância à poluição orgânica. São atribuídos valores de 1 a 10 de acordo com o grau de tolerância ou sensibilidade de cada família, sendo 1 para os organismos mais tolerantes e 10 para organismos mais sensíveis aos impactos (JUNQUEIRA et al., 2018; MONTEIRO; OLIVEIRA; GODOY, 2008). Através do somatório das pontuações das famílias por sítio amostral obtém-se a

classificação da qualidade da água. Essa classificação é dividida em cinco classes que correspondem ao grau de contaminação do curso d'água (MONTEIRO; OLIVEIRA; GODOY, 2008). São atribuídos cinco escores para definir a qualidade da água: (i) cor azul, indicativo de qualidade de água excelente; (ii) cor verde, atribuída à qualidade boa; (iii) cor amarela classifica a qualidade da água como regular; (iv) cor laranja, atribuída à água de qualidade ruim e; (v) cor vermelha, indicativo para de péssima qualidade de água (Tabela 3).

Tabela 3-Classificação de qualidade de água de acordo com o índice BMWP.






Classificação BMWP			
Classe	Somatório da pontuação	Qualidade da água	Cor indicativa
I	> 81	Excelente	
II	80 - 61	Boa	
III	60 - 41	Regular	
IV	40 - 26	Ruim	
V	< 25	Péssima	

Fonte: Adaptado de Monteiro et al. (2008).

Em sequência foi calculado o índice BMWP-ASPT dividindo a pontuação BMWP pelo número de táxons encontrados na amostra/sítio amostral. Dessa forma, quanto maior o valor encontrado, melhor é a qualidade do ambiente (Callisto et al., 2021).

A classificação adotada para avaliar a qualidade das águas coletadas nos sítios amostrais do ribeirão Graipu (Tabela 4) seguiram Junqueira et al. (2018). No índice BMWP-ASPT também são atribuídas cores para definir a qualidade da água: (i) cor azul, utilizada como indicativo de qualidade de água muito boa; (ii) cor verde, atribuída à qualidade boa; (iii) cor amarela, classifica a qualidade de água como regular; (iv) cor laranja, atribuída à água de qualidade ruim; (v) e a cor vermelha, indicativa de péssima qualidade de água (Junqueira et al., 2018).

Tabela 4- Classificação da qualidade da água de acordo com o índice BMWP/ASPT.

Classes de qualidade	Índice BMWP/ASPT	Qualidade da água	Cor indicativa
1	> 6,0	Muito Boa	
2	5,0 - 6,0	Boa	
3	3,9 - 4,9	Regular	
4	2,5 - 3,8	Ruim	
5	< 2,5	Péssima	

Fonte: Adaptado de Junqueira et al. (2018).

5.6.3 Porcentagem de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT)

No índice EPT são considerados todos os organismos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera presentes nos sítios amostrais, sendo calculado a abundância relativa destas ordens em relação ao número total de organismos da amostra (CARRERA; FIERRO, 2018; SANTANA; DANTAS, 2014). Esse índice baseia-se no fato de que a maioria dos organismos nestas três ordens são sensíveis à poluição orgânica (GONÇALVES; MENEZES, 2011), sendo calculado por meio da equação a seguir.

$$\text{EPT} = \frac{\text{nº de indivíduos Porcentagem de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera}}{\text{Nº total de indivíduos}}$$

Os resultados foram comparados conforme proposto por Krebs (1989), Tabela 5.

Tabela 5- Classificação da qualidade da água de acordo com o índice EPT.

Referências	
Porcentagem de EPT	Qualidade da água
75% -100%	Muito boa
50% - 74%	Boa
25%-49%	Regular
0% -24%	Ruim

Fonte: Adaptado de Krebs (1989).

5.6.4 Razão EPT / Chironomidade

A razão EPT/Chironomidae é calculada somando todos os organismos das ordens Ephemeroptera (E), Plecoptera (P) e Trichoptera (T) coletados em um sítio amostral, e o resultado é dividido pelo somatório de indivíduos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, mais o total de indivíduos da família Chironomidae, conforme equação

abaixo:

$$\frac{\sum \text{EPT}}{\sum \text{EPT} + \text{Chironomidae}}$$

Os resultados foram comparados aos critérios proposto por Rosenberg & Resh (2001), Tabela 6.

Tabela 6: Classificação de qualidade de água de acordo com o índice Razão EPT/ Chironomidae.

Razão EPT/Chironomidae	Qualidade da água	Grau de poluição
1 a 0,80	Boa	Pode apresentar alguma poluição
0,79 a 0,60	Regular	Com baixa poluição orgânica
0,59 a 0,30	Ruim	Com significativa poluição orgânica
0,29 a 0,0	Muito ruim	Com severa poluição orgânica

Fonte: Rosenberg & Resh (2001).

5.6.5 Classificação quanto aos níveis de tolerância de bioindicadores bentônicos: sensíveis, tolerantes e resistentes

Os macroinvertebrados bentônicos foram classificados como sensíveis, tolerantes ou resistentes a perturbações antrópicas (Callisto et al., 2021b; Junqueira et al., 2000, 2018; Silva et al., 2017). Para cada táxon coletado foram atribuídas pontuações que variam de 1 a 10 de acordo com a sensibilidade apresentada frente a distúrbios humanos em cada sítio amostral. Famílias pontuadas entre 1 a 3, são classificadas como resistentes, entre 4 a 7 indicam famílias tolerantes e entre 8 a 10 são famílias sensíveis (Callisto et al., 2021; França & Callisto, 2019).

5.6.6 Grupos Tróficos Funcionais

A classificação dos bioindicadores bentônicos em grupos tróficos funcionais (GTF) foi realizada de acordo com os critérios descritos em Cummins et al. (2005), Merritt et al. (2014), Ramírez & Gutiérrez-Fonseca (2014) e Rodriguez et al. (2021). Foi avaliada a dominância relativa dos principais grupos funcionais (fragmentadores, coletores-catadores, coletores-filtradores, raspadores e predadores).

Os fragmentadores utilizam plantas, madeiras e outras partículas orgânicas grossas (CPOM > 1mm), transformando em pedaços menores, os quais ficam disponíveis

para os coletores-catadores, que por sua vez, se alimentam de matéria orgânica particulada fina (FPOM 50 μ m -1mm) e ultrafina (0,5 - 50 μ m). Os coletores-filtradores filtram a matéria orgânica particulada fina da coluna d'água. Os raspadores são os organismos que possuem seu aparato bucal adaptado à raspagem de perifíton (algas e outros microrganismos associados) das superfícies de rochas e parte da vegetação submersa (MERRITT; CUMMINS; CAMPBELL, 2014). Portanto, a dominância dos raspadores está diretamente associada à produção primária fitobentônica (RAMÍREZ; GUTIÉRREZ-FONSECA, 2014). Os predadores, por sua vez, capturam e engolem presas vivas (> 0,5mm), podendo se alimentar também de fluidos corporais e tecidos de suas presas (CUMMINS; MERRITT; ANDRADE, 2005). A função dos predadores nos ecossistemas aquáticos é muito importante, pois ela tem o potencial de controlar populações de outros organismos e também movimentar energia (Tabela 7) (RAMÍREZ; GUTIÉRREZ-FONSECA, 2014).

Tabela 7-Categorias de grupos tróficos funcionais e fontes de recursos (adaptado de Cummins et al., 2005e Merritt et al., 2017). MOPG= Matéria Orgânica Particulada Grossa e MOPF= Matéria Orgânica Particulada Fina.

Grupos tróficos	Mecanismos, alimentação, tamanho de partículas	Recursos alimentares dominantes	Amplitude de tamanho de partículas de alimento (mm)
Fragmentadores	Mastigam folhas condicionadas por hyphomicetos aquáticos ou tecidos de plantas vasculares, ou madeira apodrecida.	MOPG em decomposição (ou macrófitas aquáticas vivas) de plantas vasculares.	>1,00
Coletores-filtradores	Alimentam-se de partículas em suspensão, filtrando a água.	MOPF- partículas de detritos em decomposição; algas, bactérias, fezes de invertebrados.	0,01-1,00
Coletores-catadores	Alimentam-se de partículas depositadas no sedimento ou coletam partículas em áreas deposicionais.	MOPF- partículas de detritos em decomposição; algas, bactérias, fezes de invertebrados.	0,05-1,00
Raspadores	Se aderem à rochas e superfícies de madeira, gravetos ou plantas aquáticas enraizadas.	Perifíton-algas filamentosas não aderidas e detritos associados, microflora, fauna e fezes.	0,01-1,00
Predadores	Capturam e engolem presas ou tecidos, ingerem fluidos corporais	Presas, animais vivos.	>0,5

Fonte: Cummins et al., 2005; Merritt et al., 2017.

Foram utilizadas as seguintes proporções dos grupos tróficos funcionais para avaliar a condição funcional das comunidades de macroinvertebrados bentônicos em cada sítio amostral: (CF/CC): para a quantidade de matéria orgânica particulada fina transportada na coluna d'água, calculada como a proporção de coletores-filtradores sobre coletores-catadores; (F/CF+CC): para a quantidade de matéria orgânica partícula grossa disponível, calculada como proporção de fragmentadores sobre coletores-filtradores e coletores-catadores; (R+CF/F+CC): para estabilidade do substrato, estimado a partir da proporção de raspadores e coletores-filtradores sobre fragmentadores e coletores-catadores (Tabela 8) (Callisto et al., 2021; Cummins et al., 2005).

Tabela 8- Índices baseados na composição de grupos funcionais de alimentação como indicadores de atributos de ecossistemas lóticos.

Atributo do Ecossistema	Símbolos para os atributos dos ecossistemas	Razões dos grupos tróficos funcionais para os atributos	CrITÉrios gerais
Índice autotrófico a heterotrófico	P/R	Raspadores por fragmentadores + total de coletores.	Autotrófico >0,75
Índice MOPG a MOPF	MOPG / MOPF	Fragmentadores por total de coletores.	Associação de fragmentadores relacionado ao funcionamento da zona ripária >0,25
MOPF suspensa sendo transportada a MOPF estocada no sedimento (depósitos bÉnticos).	MOPFt / MOPFb	Coletores filtradores por coletores catadores.	MOPF transportada (em suspensão) maior que as partículas em suspensão >0,50
Estabilidade de substrato no canal	Canal estável	Raspadores + coletores filtradores por fragmentadores + coletores catadores	Abundância de substratos estáveis (p.ex. pedras, seixos, grandes troncos, plantas vasculares enraizadas) > 0,50

Fonte: Cummins et al., 2005; Merritt et al., 2017.

5.6.7 Índices Multimétricos Bentônicos (MMI)

Índices multimétricos (MMIs) são ferramentas ecológicas utilizadas para o monitoramento e gerenciamento de ecossistemas de água doce (VADAS et al., 2022). São calculados a partir de um conjunto de métricas que são utilizadas para definir a classificação da qualidade ecológica de ecossistemas aquáticos, comparando os resultados obtidos com os de locais considerados em condições de referência (Baptista, 2008). São incluídas métricas biológicas como riqueza taxonômica, estrutura funcional, composição de espécies, entre outras, que refletem os distúrbios antrópicos (Silva et al., 2017). Dos diversos índices multimétricos desenvolvidos por diferentes autores, para este

estudo, foram utilizados os índices multimétricos de Macedo et al. (2016) e Silva et al. (2017). Estes índices foram desenvolvidos, validados e testados para bacias hidrográficas no estado de Minas Gerais pela equipe do Laboratório de Ecologia de Bentos do ICB-UFMG.

De acordo com a avaliação do MMI estabelecido por Macedo et al. (2016), são utilizadas quatro métricas biológicas: Riqueza de EPT, táxons tolerantes, % Predadores, % Odonata. Foram atribuídos três scores como critério para a classificação da qualidade das águas (Tabela 09). Para realização do cálculo do índice multimétrico conforme estabelecido por Macedo et al., 2016, o primeiro passo é calcular o percentil 95 da soma de cada uma das métricas e, em seguida, dividir o valor do percentil obtido pelo valor pontuado em cada sítio amostral, para cada uma das métricas. Esse valor deve ser normalizado em 100. Em seguida, é calculada a média dos dados normalizados, por sítio amostral.

Tabela 09- Classificação dos scores MMI (Macedo et al., 2016) para avaliação da qualidade da água na sub-bacia do ribeirão Graipu, MG.

Score	Classificação
< 60%	Ruim
Entre 60-80%	Regular
>80%	Boa

Fonte: Macedo, 2016.

O índice multimétrico proposto por Silva et al. (2017) utiliza sete métricas de assembleia em escala que descrevem diferentes aspectos das características da assembleia de macroinvertebrados: riqueza de Ephemeroptera, % de indivíduos Gastropoda, índice de diversidade de Shannon-Wiener, % de riqueza de táxons sensíveis, % de indivíduos raspadores, riqueza de táxons temporariamente ligados e táxons de respiração branquial riqueza (Silva et al., 2017). Foram atribuídos três scores como critério para a classificação da qualidade das águas (Tabela 10).

Tabela 10- Classificação dos scores MMI (Silva et al., 2017), para avaliação da qualidade da água na sub-bacia do ribeirão Graipu, MG.

Score	Classificação
< 5	Ruim
Entre 5 e 25	Regular
> 25	Boa

Fonte: Silva, 2017.

As métricas foram padronizadas em uma escala de 0 a 10, interpolando as métricas entre os valores do piso e do teto. Conforme determinado por Silva et al., 2017, foi aplicado o percentil 5 valores de referência como piso sobre métricas que responderam positivamente à perturbação dos e o percentil 95 de todos os locais como teto. As pontuações métricas abaixo/acima do piso/teto são definidas como 0 ou 10, respectivamente. Obtem-se o valor final do MMI somando os sete valores da escala métrica de 0 a 10 e padronizando para uma escala de 0 a 100 multiplicando por 100/70.

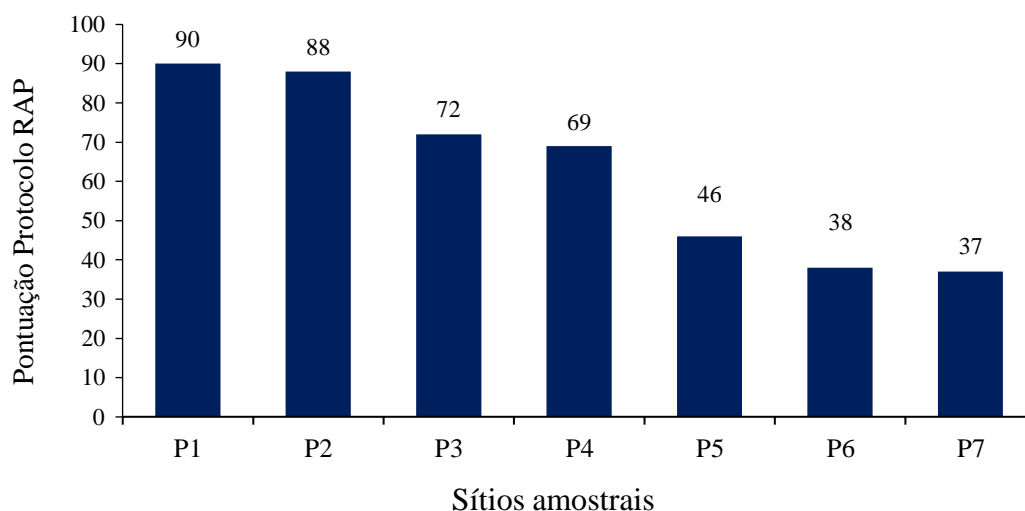
6 RESULTADOS

6.1 Avaliação Ecológica Rápida

6.1.1 Protocolo de Avaliação Rápida de Diversidade de Habitats e Integridade de Zonas Ripárias

Os resultados da Aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida evidenciaram que P1, P2, P3 e P4 encontram-se em condições de referência (>60 pontos), apresentando características ambientais satisfatórias para a manutenção da vida aquática nos cursos d'água estudados na sub-bacia do ribeirão Guaipu. O sítio amostral P5 foi classificado como alterado (entre 60 e 41 pontos), P6 e P7 foram classificados como impactados (<40 pontos). Os três últimos sítios, referem-se a áreas antropizadas, evidenciando distúrbios por atividades humanas nos ecossistemas aquáticos (Fig. 11; Tabela 11).

Figura 11- Aplicação do Protocolo de avaliação Rápida (RAP) nos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11- Características físicas dos habitats avaliadas pela aplicação do Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida de condições ecológicas e Diversidade de Habitats em trechos de Sub-bacias Hidrográficas aplicados nos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Observações gerais: Cor verde: Ref.= Condições de Referência; cor amarela: Alt.= Alterado; cor rosa: Imp. = Impactado.

Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água	4	4	2	2	2	0	2
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	4	4	4	2	2	2	0
3. Alterações antrópicas	4	4	0	2	2	0	2
4. Cobertura vegetal no leito	4	4	4	4	4	4	0
5. Odor da água	4	4	4	4	4	4	4
6. Oleosidade da água	4	4	4	4	2	4	4
7. Transparência da água	4	4	2	4	2	2	2
8. Odor do sedimento (fundo)	4	4	4	4	4	4	4
9. Oleosidade do fundo	4	4	4	4	4	4	4
10. Tipo de fundo	2	2	2	4	2	2	2
11. Tipos de fundo (habitats)	5	5	5	3	3	2	2
12. Extensão de rápidos	5	5	5	3	3	0	2
13. Frequência de rápidos	5	5	5	5	5	0	2
14. Tipos de substrato	0	0	3	3	0	0	0
15. Deposição de lama	2	0	5	5	0	0	0
16. Depósitos sedimentares	5	5	3	3	0	0	0
17. Alteração no canal do rio	5	5	3	0	0	0	0
18. Características do fluxo das águas	5	5	5	5	3	5	2
19. Presença de mata ciliar	5	5	0	0	0	2	0
20. Estabilidade das margens	5	5	5	3	2	3	0
21. Extensão da mata ciliar	5	5	0	0	0	0	0
22. Presença de plantas aquáticas	5	5	3	5	2	0	5
Total	90	88	72	69	46	38	37
Resultado	Ref.	Ref.	Ref.	Ref.	Alt.	Imp.	Imp.

Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.2 Parâmetros físicos e químicos de qualidade de água

Os resultados obtidos com a mensuração dos parâmetros físicos e químicos de qualidade de água apresentam diferenças consideráveis em cada um dos sítios amostrados (Tabela 12). Os maiores valores de temperatura foram registrados nos sítios impactados (P6 e P7), assim como os valores de turbidez nos sítios alterados e impactados (P5, P6, P7), validando os resultados obtidos no protocolo de avaliação ecológica rápida de condições ecológicas e diversidade de habitats. Os valores de vazão de água nos cursos d'água variaram de 0,17m³/s (P7) a 3,25m³/s (P1), Tabela 12.

Os valores de pH variaram entre 5,12 (P1) e 8,85 (P6). Os teores de sólidos totais dissolvidos mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (Classe 2), apesar de em P3 o valor ter violado o limite. Os teores de oxigênio dissolvido atenderam aos limites da Resolução CONAMA 357/2005 e a deliberação normativa do COPAM/CERH 11/2022, com exceção do P5 (4,59 mg/L), enquanto que os valores de condutividade elétrica extrapolam os limites da CETESB nos sítios P2, P3, P1 e P4 (nesta ordem) em relação aos demais sítios amostrais avaliados. Em P1 foram registrados os maiores valores de potencial oxi-redox na água e sedimento.

O valor máximo de nitrogênio total foi identificado no sítio P7 (2,34 mg/L), e o valor mínimo no P1 (1,30mg/L). O fósforo total extrapolou os limites da Resolução CONAMA 357/05 nos sítios P6, P4, P7, P3, P5 e P1, com valores crescentes. Os valores de DBO evidenciaram que no sítio amostral P5 foi observado 5,66 mg/L, superior ao limite do CONAMA 357/05 e COPAM/CERH 11/2022.

Tabela 12- Parâmetros físicos e químicos da qualidade da água dos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Parâmetros físicos e químicos de água	Valor máximo permitido (VMP)	Sítios amostrais						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Temperatura (°C)	-	21,00	20,50	22,50	22,50	21,80	25,00	28,00
pH	6,0 a 9,0 ^(1,2)	5,12	8,06	8,43	8,83	5,52	8,85	8,41
Turbidez (UNT)	≤ 100 ^(1,2)	4,00	1,00	12,00	13,00	19,00	14,00	16,00
Sólidos Totais								
Dissolvidos (ppm)	500 ⁽¹⁾	69,30	70,10	162,00	36,90	26,00	38,00	10,88
Oxigênio dissolvido (mg/L)	≥ 5,0 ^(1,2)	8,70	5,19	7,49	7,42	4,59	7,83	7,62
Oxigênio dissolvido (% saturação)	-	80,77	47,31	70,89	70,25	42,60	78,39	80,46
Condutividade elétrica (uS/cm)	100 us/cm ⁽³⁾	147,1	451,0	326,0	104,0	49,8	71,8	28,9
Potencial oxi-redox água (mV)	-	136,00	58,00	81,00	61,00	21,00	62,00	30,00
Potencial oxi-redox Sedimento (mV)	-	179,00	64,00	113,00	-90,00	-170,00	-100,00	-96,00
Nitrogênio Total	10 mg/L ⁽¹⁾	1,3	1,75	1,4	1,64	1,59	1,31	2,34
Fósforo Total	0,03 mg/L ^(1,2)	16	0,00	23	38	23	61	36
DBO (mg/L)	≤ 5 ^(1,2)	0,42	1,08	1,46	0,52	5,66	0,79	1,35
Vazão (m³/s)	-	3,25	0,33	0,31	0,24	0,81	0,18	0,17

⁽¹⁾ Padrões da resolução CONAMA 357/05 - Águas doces - classe II;

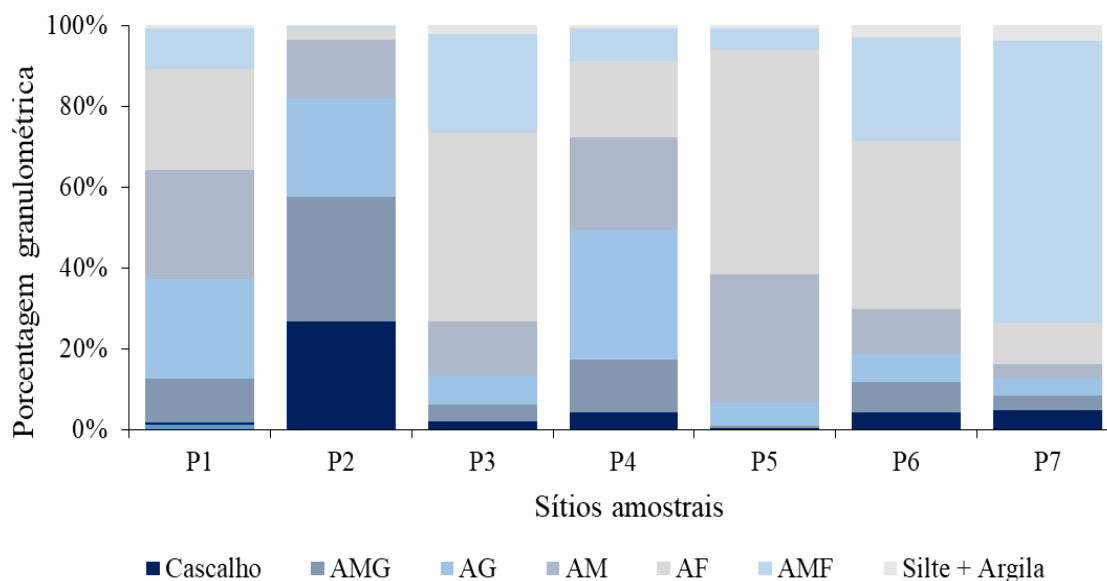
⁽²⁾ Padrões da DN COPAM/CERH-MG N° 8, 11/2022- Águas doces - classe II;

⁽³⁾ Padrões da CETESB (2009).

6.1.3 Composição Granulométrica e Teores de Matéria Orgânica nos Sedimentos

As análises de composição granulométrica dos sedimentos evidenciaram que houve predominância de partículas grossas e cascalho nos sítios amostrais P1 (36,72%); P2 (81,93%) e P4 (49,49%), diferentemente dos resultados apresentados nos sítios P3 (73,32%); P5 (61,49%); P6 (70,32%) e P7 (83,83%), que demonstram predominância de partículas finas, muito finas e associadas à fração silte + argila (Fig.12; Tabela 13- Anexo B).

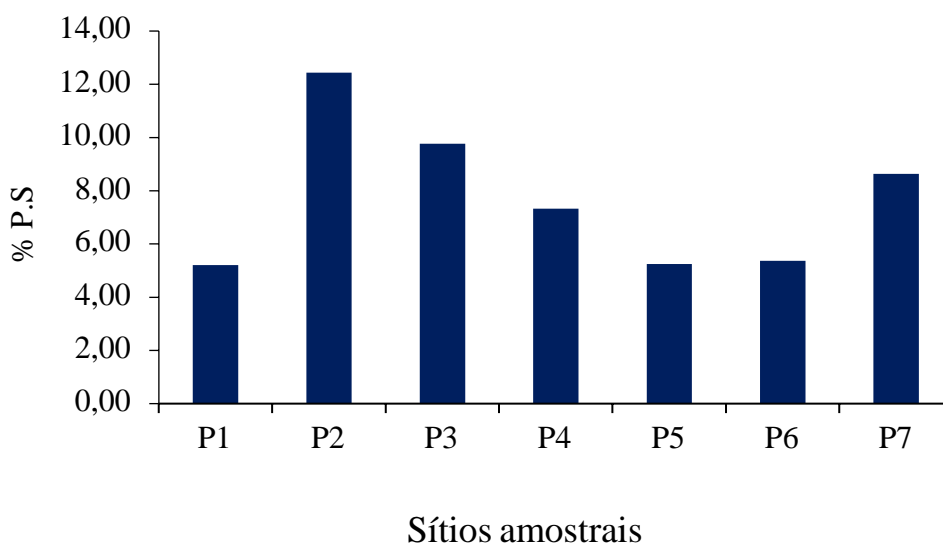
Figura 12- Composição granulométrica de sedimentos coletados nos sete sítios amostrais na sub-bacia doribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães, MG, em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em geral, os valores de matéria orgânica nos sedimentos foram baixos (5,21 % P.S. em P1, 7,33 % PS em P4, 5,25 % PS em P5, 5,36% em P6). No entanto, nos demais sítios amostrais, os valores foram maiores (P2=12,43%; P3=9,77% e P7=8,63%) (Fig. 13, Tabela 13, Anexo B).

Figura 13- Teores de matéria orgânica mensurados nos sedimentos em cada um dos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

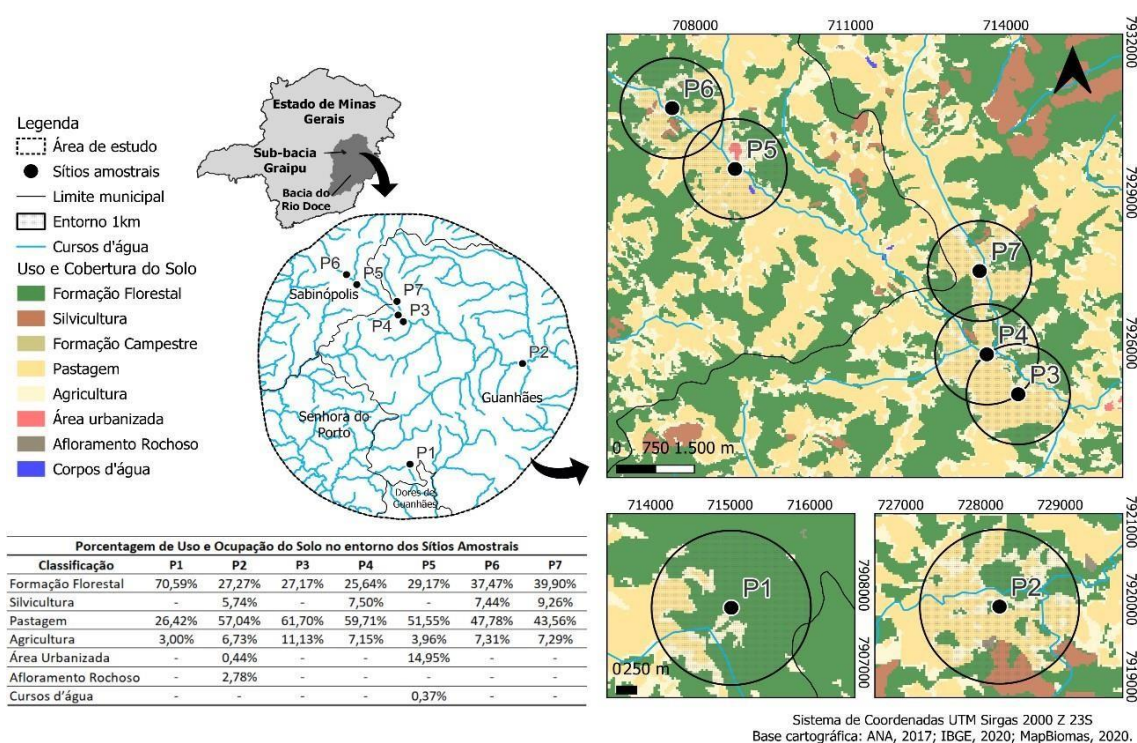


Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.4 Avaliação de uso e cobertura do solo nas sub-bacias

Conforme o mapa de uso e cobertura do solo (Fig. 14) é possível observar que P1 apresenta a maior porcentagem de formação florestal (70,59%) em sua sub-bacia em relação aos demais sítios analisados. O uso da terra por silvicultura é observado nos sítios P2 (5,74%), P4 (7,50%), P6 (7,44%) e P7 (9,26%). A pastagem está presente em todos os sítios amostrados - P1 (26,42%); P2 (57,04%); P3 (61,70%); P4 (59,71%); P5 (51,55%); P6 (47,78%); P7 (43,56%), assim como a agricultura P1 (3,00%); P2 (6,73%); P3 (11,13%); P4 (7,15%); P5 (3,96%); P6 (7,31%); P7 (7,29%). A área urbanizada foi evidenciada somente nos sítios P2 e P5. Afloramentos rochosos são evidenciados somente em P2 e cursos d'água foram quantificados apenas em P5.

Figura 14- Mapeamento do uso e cobertura do solo (ANA, 2017; IBGE, 2020; MapBiomias, 2020).



Fonte: Elaborado pela autora.

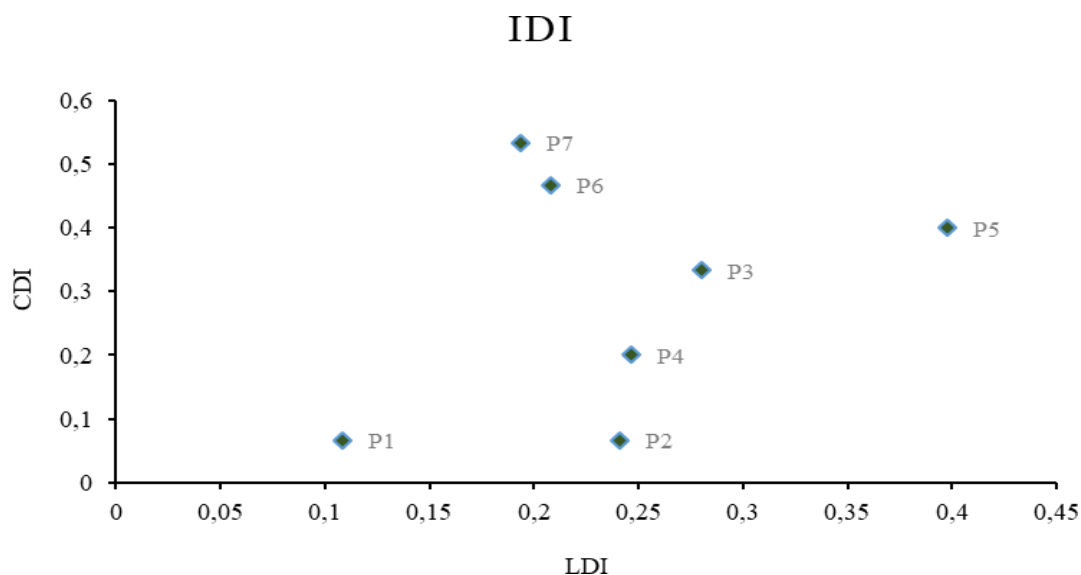
Os resultados do índice de distúrbio local (LDI) evidenciaram maiores distúrbios em P7 e P6 e o menor distúrbio foi identificado em P1 e P2 (igualmente). Os resultados do índice de distúrbio na bacia (CDI) evidenciaram que os maiores distúrbios estão concentrados nos sítios P3 e P5, enquanto que o menor valor foi obtido em P1. Por outro lado, os resultados do índice de distúrbio integrado (IDI) que reflete a combinação dos impactos antrópicos em escalas local e da bacia (LDI e CDI) evidenciou que os sítios amostrais P5 e P7 são os locais sob maior pressão por atividades antrópicas e os sítios P1 e P2 com as melhores condições ecológicas (condições de referência) (Tabela 14 e Fig.15).

Tabela 14- Pontuação dos índices distúrbio local (LDI), índice de distúrbio na sub-bacia (CDI) e índice de distúrbio integrado (IDI) de (Ligeiro et al., 2013).

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
LDI	0,067	0,067	0,333	0,200	0,400	0,467	0,533
CDI	0,108	0,241	0,280	0,247	0,398	0,208	0,194
IDI	0,127	0,250	0,435	0,318	0,564	0,511	0,567

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 15- Índice de distúrbio integrado (IDI) pontuado nos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipuru, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

As análises de causalidade obtidas por meio dos modelos lineares generalizados (GLMs) demonstraram que existe uma relação de causa e efeito dos distúrbios analisados (índices distúrbio local (LDI), distúrbio na bacia de drenagem (CDI) e índice de distúrbio integrado (IDI)) atuando diretamente sobre as variáveis bióticas de riqueza taxonômica, abundância de indivíduos (Nº ind), BMWP, BMWP/ASPT, índice EPT, organismos resistentes, índices multimétricos (MMIs) de Macedo et al. (2016) e Silva et al. (2017) (Tabela 15).

Tabela 15- Valores de $p < 0,05$, na avaliação de causalidade dos índices de distúrbio local (LDI), sub-bacia (CDI) e integrado (IDI) de Ligeiro et al. (2013) sobre métricas bióticas, avaliadas nos 7 sítios amostrais da sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022. Teste de “Chisq” com $N=7$.

	LDI	CDI	IDI
Riqueza	<0,05	0,99	<0,05
Abundância	<0,05	<0,05	<0,05
BMWP	<0,05	<0,05	<0,05
BMWP/ASPT	<0,05	0,42	<0,05
EPT	<0,05	<0,05	<0,05
Resistentes	0,66	0,12	0,43
MMI(Macedo et al.,2016)	<0,05	<0,05	<0,05
MMI(Silva et al.,2017)	0,25	0,10	0,14

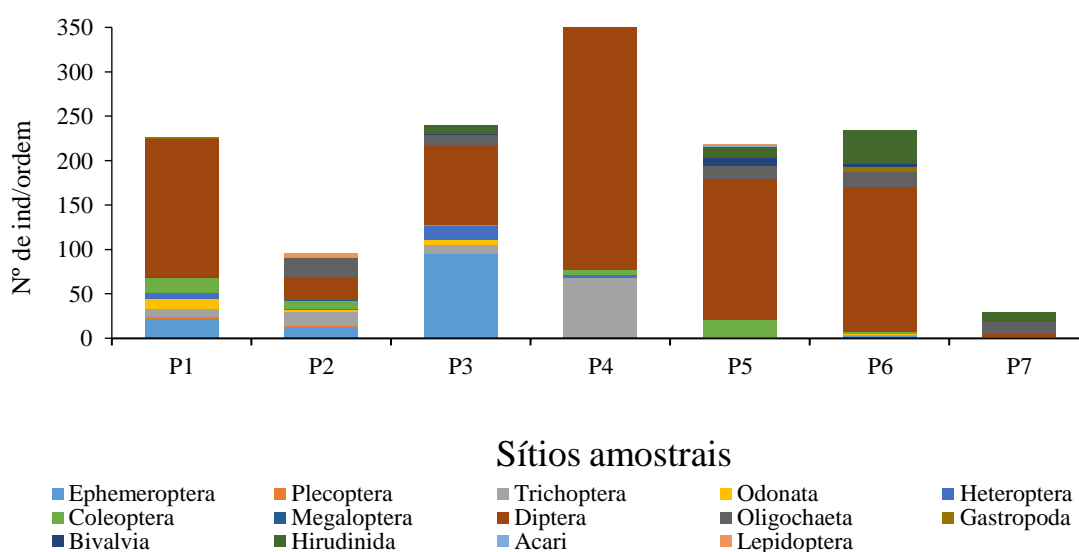
Fonte: Elaborado pela autora.

6.2 ÍNDICES BIÓTICOS

6.2.1 Composição Taxonômica

A identificação taxonômica dos macroinvertebrados resultou na classificação de 41 táxons diferentes compreendendo um total de 1.441 macroinvertebrados bentônicos, classificados em 12 ordens, 1 subclasse (Oligochaeta) e 1 Classe (Gastropoda). A composição taxonômica foi distinta entre os pontos analisados, evidenciando maior número de organismos sensíveis em sítios amostrais em condições de referência. Os organismos tolerantes e resistentes foram encontrados em todos os sítios amostrais, em especial, locais que apresentaram condições alteradas e impactadas por atividades humanas (Fig.16; Tabela 16-Anexo C).

Figura 16- Composição taxonômica de macroinvertebrados bentônicos nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

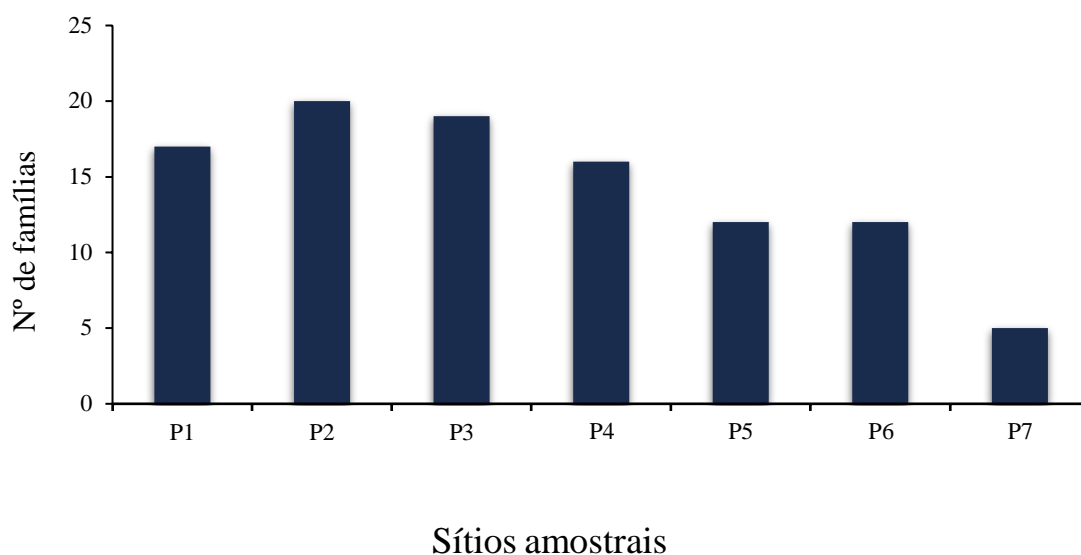


Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.2 Riqueza taxonômica, abundância e padrões de distribuição

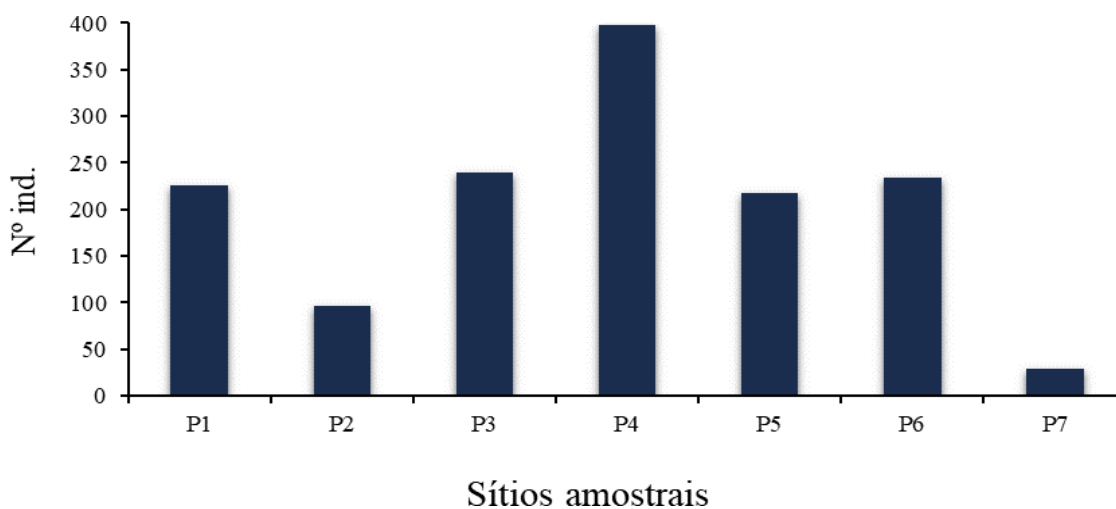
Os sítios amostrais em que foram observados maiores valores de riqueza taxonômica foram 19 famílias e 1 subclasse (Oligochaeta) no P2 e 18 famílias e 1 subclasse (Oligochaeta) no P3 (Fig. 17). Em relação a abundância de indivíduos (N° ind.), os sítios P4 e P3 apresentaram o maior quantitativo de *taxas* sendo, 398 e 240 indivíduos respectivamente (Fig. 18).

Figura 17- (A) Riqueza taxonômica encontrada nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18- Abundâncias de indivíduos (N° ind.) encontrada nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

As famílias Leptophlebiidae, Odontoceridae, Veliidae, Helotrephidae, Hydrophiloidea, Psychodidae e Glossiphoniidae apresentaram distribuição aleatória, enquanto que as famílias Leptohyphidae, Baetidae, Gripopterygidae, Perlidae, Corduliidae, Calopterygidae, Perilestidae, Aeshnidae, Naucoridae, Elmidae, Chaoboridae apresentaram distribuição agregada.

Por outro lado, famílias Caenidae, Leptoceridae, Hydropsychidae, Calamoceratidae, Polycentropodidae, Gomphidae, Libellulidae, Hydrophilidae, Corydalidae, Tipulidae, Chironomidae, Empididae, Ceratopogonidae, Simuliidae, subclasse Oligochaeta, Planorbidae, Hyriidae, Hydracarina e Pyralidae, apresentaram uma distribuição agregada aleatória ao longo dos sítios amostrados, e somente a família Helichopsychidae apresentou distribuição uniforme, (Tabela 17).

Tabela 17- Padrões de dispersão de macroinvertebrados bentônicos nos 7 sítios amostrais no ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

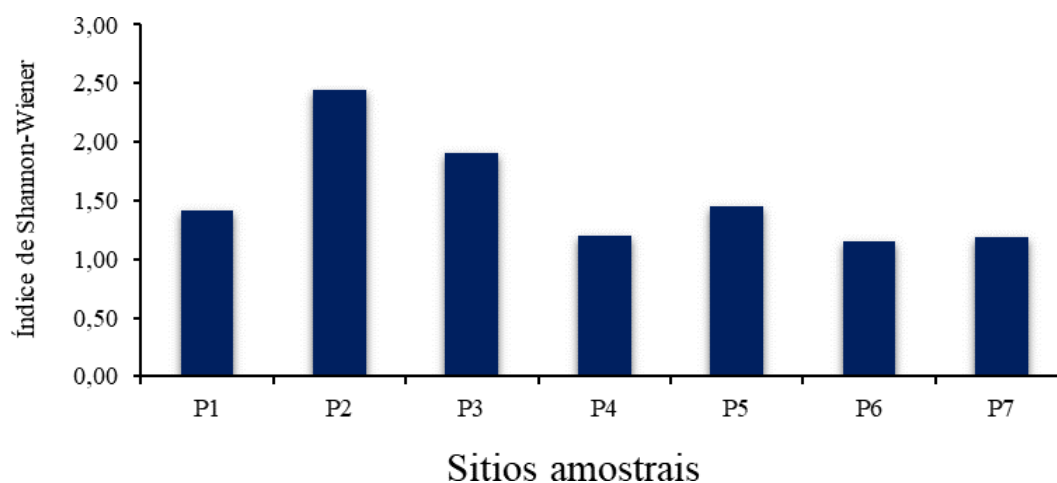
Sítio amostral		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Ordem/Classe/Subclasse	Sub-amostra	Média (±SD)	Média (±SD)	Média (±SD)	Média (±SD)	Média (±SD)	Média (±SD)	Média (±SD)
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	25,93 ± 23,13	40,74 ± 32,08	36,41 ± 6,13	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Leptohiphidae	14,81 ± 25,66	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Baetidae	3,70 ± 6,42	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Caenidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	11,11 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Leptoceridae	37,04 ± 33,95	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Plecoptera	Gripopterygidae	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Perlidae	7,41 ± 12,83	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Trichoptera	Helichopsychidae	11,11 ± 11,11	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Hydropsychidae	14,81 ± 25,66	48,15 ± 44,91	46,53 ± 2,29	244,44 ± 413,80	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00
	Odontoceridae	7,41 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Hydroptilidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Calamoceratidae	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Polycentropodidae	0,00 ± 0,00	7,41 ± 12,83	10,12 ± 3,83	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Odonata	Corduliidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	7,41 ± 12,83	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Gomphidae	37,04 ± 32,08	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42
	Libellulidae	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Calopterygidae	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Perilestidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00
	Aeshnidae	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42
Heteroptera	Veliidae	0,00 ± 0,00	7,41 ± 6,42	6,91 ± 0,70	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Naucoridae	25,93 ± 25,66	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	11,11 ± 19,25	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Mesoveliidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Helotrephidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Gerridae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Coleoptera	Hydrophilidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	70,37 ± 46,26	7,41 ± 12,83	0,00 ± 0,00
	Elmidae	59,26 ± 65,11	14,81 ± 16,97	15,89 ± 1,53	22,22 ± 38,49	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Hydrophiloidea	0,00 ± 0,00	18,52 ± 12,83	15,67 ± 4,02	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Megaloptera	Corydalidae	3,70 ± 6,42	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Diptera	Chaoboridae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	14,81 ± 25,66	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Tipulidae	0,00 ± 0,00	44,44 ± 50,92	47,68 ± 4,58	37,04 ± 64,15	0,00 ± 0,00	7,41 ± 6,42	0,00 ± 0,00
	Chironomidae	562,96 ± 265,12	37,04 ± 16,97	27,00 ± 14,19	996,30 ± 1365,91	500,00 ± 160,25	585,19 ± 357,69	11,11 ± 11,11
	Empididae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	22,22 ± 38,49	25,93 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Ceratopogonidae	14,81 ± 12,83	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	14,81 ± 25,66	37,04 ± 46,26	7,41 ± 12,83	0,00 ± 0,00
	Psychodidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
	Simuliidae	0,00 ± 0,00	7,41 ± 12,83	10,12 ± 3,83	70,37 ± 67,89	22,22 ± 29,40	7,41 ± 6,42	0,00 ± 0,00
Oligochaeta	Oligochaeta	0,00 ± 0,00	81,48 ± 131,62	106,55 ± 35,46	3,70 ± 6,42	51,85 ± 50,10	62,96 ± 81,90	48,15 ± 42,07
Gastropoda	Planorbidae	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	18,52 ± 12,83	0,00 ± 0,00
Bivalvia	Hyriidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	33,33 ± 22,22	11,11 ± 19,25	0,00 ± 0,00
Hirudinida	Glossiphoniidae	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	18,52 ± 6,42	48,15 ± 54,81	140,74 ± 106,77	40,74 ± 27,96
Acari	Hydracarina	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	5,06 ± 1,92	3,70 ± 6,42	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Lepidoptera	Pyralidae	0,00 ± 0,00	14,81 ± 16,97	15,89 ± 1,53	0,00 ± 0,00	3,70 ± 6,42	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.3 Índices Shannon-Wiener, Simpson e J. Pielou

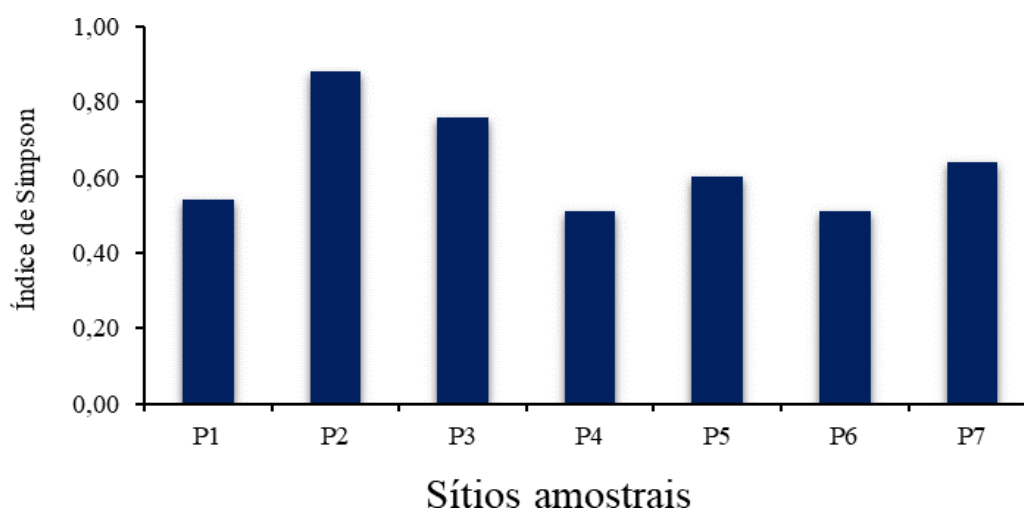
Os valores do índice de diversidade de Shannon-Wiener variaram entre 2,44 e 1,15 (Fig.19) e do índice de diversidade de Simpson variou entre 0,88 e 0,51 (Fig.20). Os resultados do índice de equitabilidade de J. Pielou evidenciaram que no sítio amostral P2 houve maior equitabilidade ($J=0,81$) seguido do sítio P7 ($J=0,74$) (Fig.21).

Figura 19- (A) Índice de diversidade de Shannon-Wiener, calculado para os 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



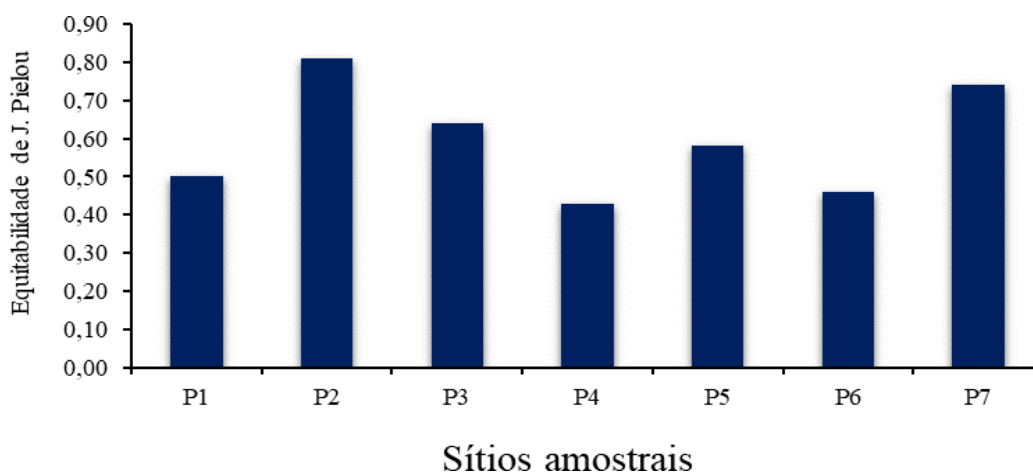
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20- Índice de diversidade de Simpson calculado para os 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21- Índices de Equitabilidade de J. Pielou calculado para os 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.4 Índices BMWP e BMWP-ASPT

As pontuações obtidas para o índice BMWP indicam que nos sítios amostrais P1, P2 e P3 a qualidade da água é “Excelente”, no sítio P4 a qualidade da água é “Regular”, nos sítios P5 e P6 a qualidade da água é “Ruim” e no sítio P7 a qualidade foi “Péssima” (Tabela 18).

Tabela 18- Classes, valores e pontuações obtidos para o índice BMWP aplicado nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Classe	Sítio amostral	Pontuação obtida	Qualidade da água	Cor indicativa
I	P1	113	Excelente	[Azul]
I	P2	119	Excelente	
I	P3	95	Excelente	
III	P4	60	Regular	[Amarelo]
IV	P5	55	Ruim	[Laranja]
IV	P6	51	Ruim	
V	P7	21	Péssima	[Vermelho]

Fonte: Elaborado pela autora.

O índice BMWP-ASPT apresentou uma classificação “Muito boa” para a qualidade da água no sítio amostral P1, uma qualidade “Boa” para os sítios P2 e P3, e nos sítios P4, P5, P6 e P7 a classificação foi “Regular” (Tabela 19).

Tabela 19- Classes, valores e pontuações obtidos para o índice BMWP-ASPT aplicado nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Classe	Sítio amostral	Pontuação obtida	Qualidade da água	Cor indicativa
1	P1	6,28	Muito boa	
2	P2	5,95	Boa	
2	P3	5,28	Boa	
3	P4	4,29	Regular	
3	P5	4,58	Regular	
3	P6	4,25	Regular	
3	P7	4,20	Regular	

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.5 Grupos Tróficos Funcionais e Atributos de Ecossistema

Foi observado que em todos os sítios amostrais houve predominância de coletores-catadores (P1: 81%; P2: 41%; P3: 75%; P4: 70%; P5: 69%; P6: 76% e P7: 55%) e menor dominância de Raspadores (P1: 2%; P2: 0%; P3: 0%; P4: 0%; P5: 0%; P6: 2% e P7: 0%) em relação aos demais grupos (Tabela 20).

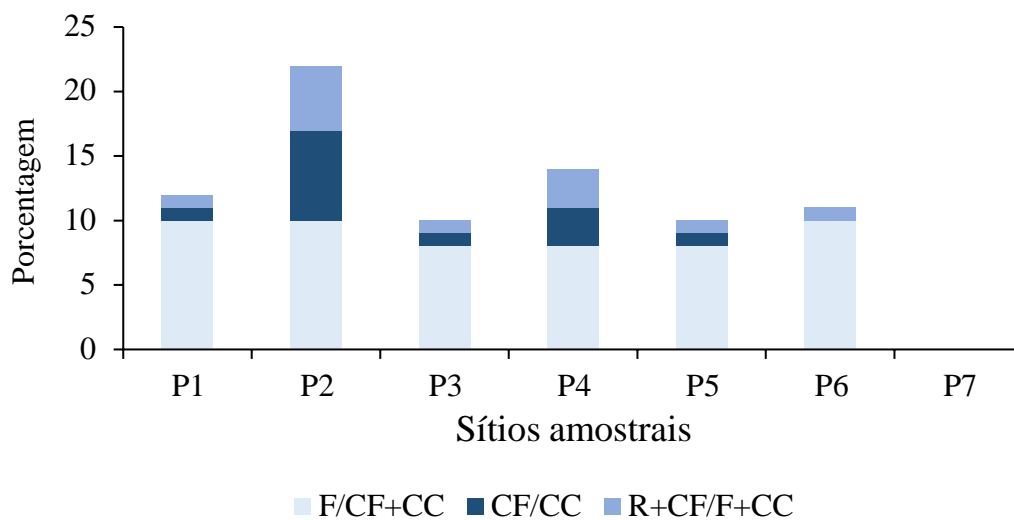
Tabela 20- Percentuais de grupos tróficos funcionais de macroinvertebrados bentônicos coletados nos 7 sítios amostrais na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Grupos Tróficos Funcionais	Sítios amostrais						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
% raspadores (R)	2	0	0	0	0	2	0
% fragmentadores (F)	1	17	1	3	0	1	0
% coletores-filtradores (CF)	5	29	9	21	7	3	0
% predadores (P)	11	14	15	6	24	18	45
% coletores-catadores (CC)	81	41	75	70	69	76	55

Fonte: Elaborado pela autora.

Maiores valores da razão fragmentadores/coletores-catadores foram observados nos sítios amostrais 1 a 6, indicando instabilidade de substrato no canal fluvial (Fig. 22).

Figura 22- Avaliação dos atributos de ecossistemas nos 7 sítios amostrais na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.6 Métricas Biológicas de Bioindicadores Bentônicos

A avaliação do índice EPT evidenciou similaridade entre os sítios P1 e P4; P2 e P3; P5, P6 e P7 quanto ao percentual de organismos amostrados. Resultados semelhantes foram obtidos para a razão EPT/ Chironomidae (Tabela 21).

Houve predominância de larvas de Chironomidae nos sítios P1 (67%); P4 (68%); P5 (62%) e P6 (68%). Similarmente, a razão Chironomidae/Oligochaeta foi também elevada nos sítios P1 (67%), P4 (68%), P5 (68%) e P6 (75%).

Tabela 21: Avaliação dos índices EPT, razão EPT / Chironomidae, % Chironomidae e % Chironomidae/Oligochaeta nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

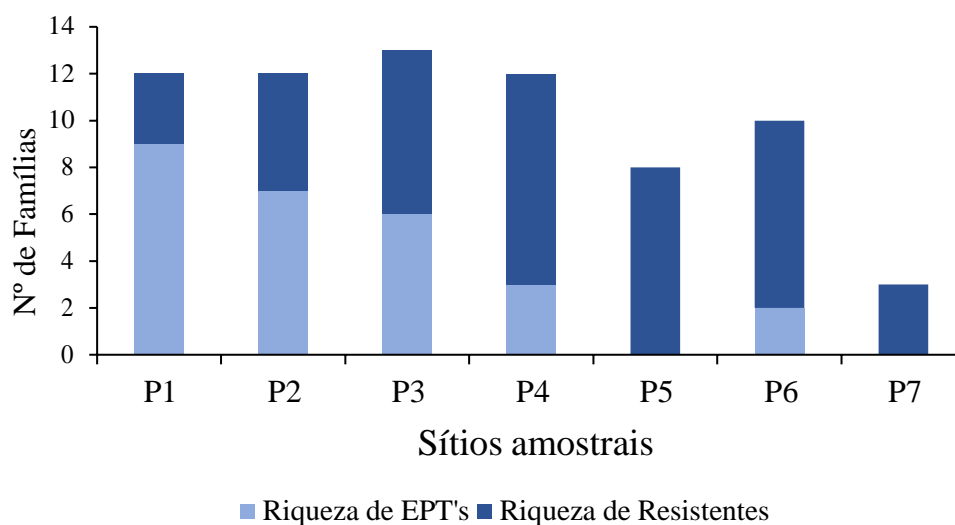
Métricas bióticas	Sítios amostrais						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Índice EPT	15	31	44	17	0	2	0
Razão EPT / Chironomidae	0,18	0,86	0,57	0,20	0,00	0,02	0,00
% Chironomidae	67	5	33	68	62	68	10
% Chironomidae + Oligochaeta	67	28	39	68	68	75	55

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.7 Riqueza EPT e Riqueza de resistentes

A comparação entre riqueza de EPT e riqueza de organismos resistentes evidenciou que P1, P2 e P3 foram os sítios com maior presença de famílias de EPT's em relação aos demais sítios amostrados. Em P5 e P7 não houve presença de EPT's, sendo observada alta abundância de resistentes (Fig. 23).

Figura 23- Riqueza de EPT's e riqueza de resistentes a poluição, avaliados nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

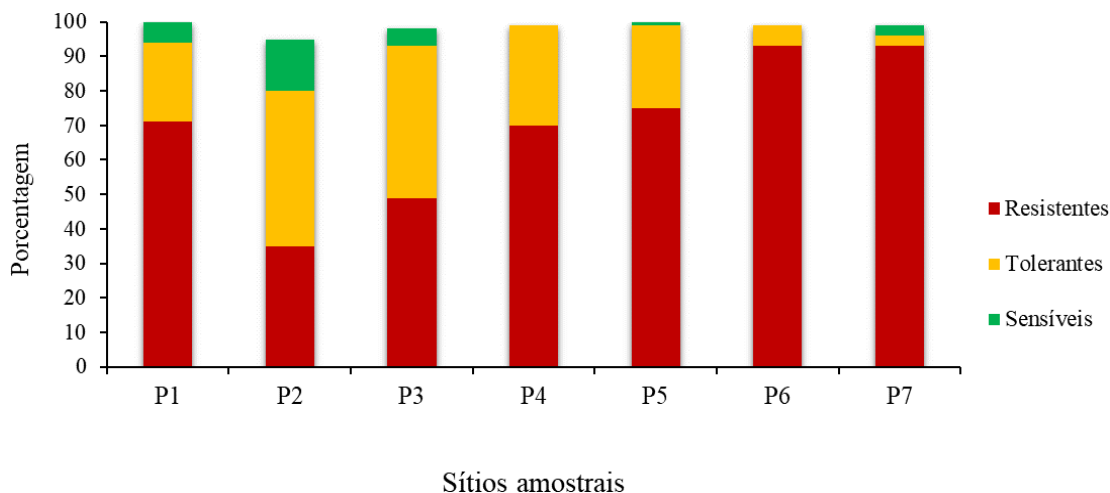


Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.8 Classificação de bioindicadores sensíveis, tolerantes e resistentes

A classificação dos macroinvertebrados bentônicos em sensíveis, tolerantes e resistentes à poluição evidenciou maior ocorrência de organismos resistentes na maioria dos sítios amostrais (P1: 71%; P3: 49%; P4: 70%; P5: 75%; P6: 93%; P7: 93%), com exceção do sítio P2 em que houve maior abundância de organismos tolerantes (45%), (Fig. 24).

Figura 24- Classificação de bioindicadores bentônicos classificados em sensíveis, tolerantes e resistentes a poluição nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

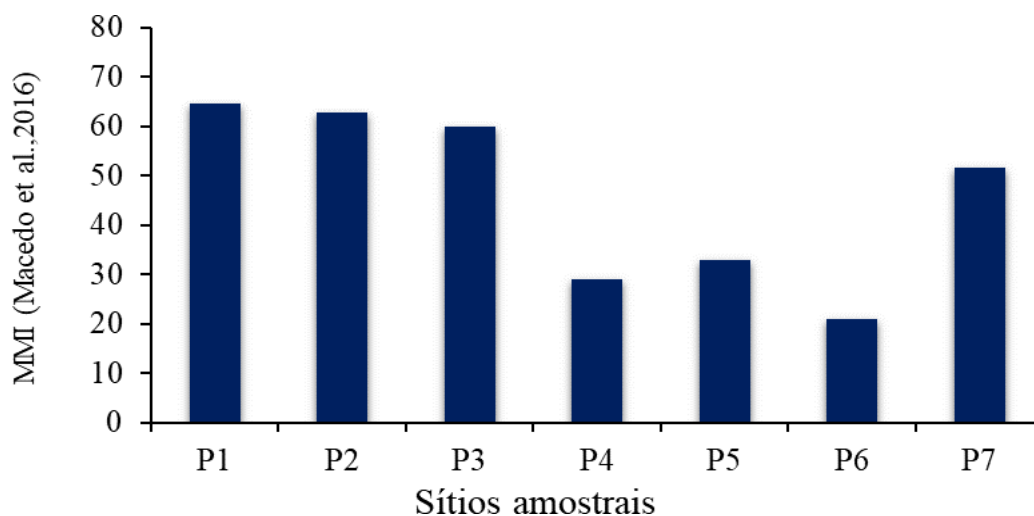


Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.9 Índices Multimétricos

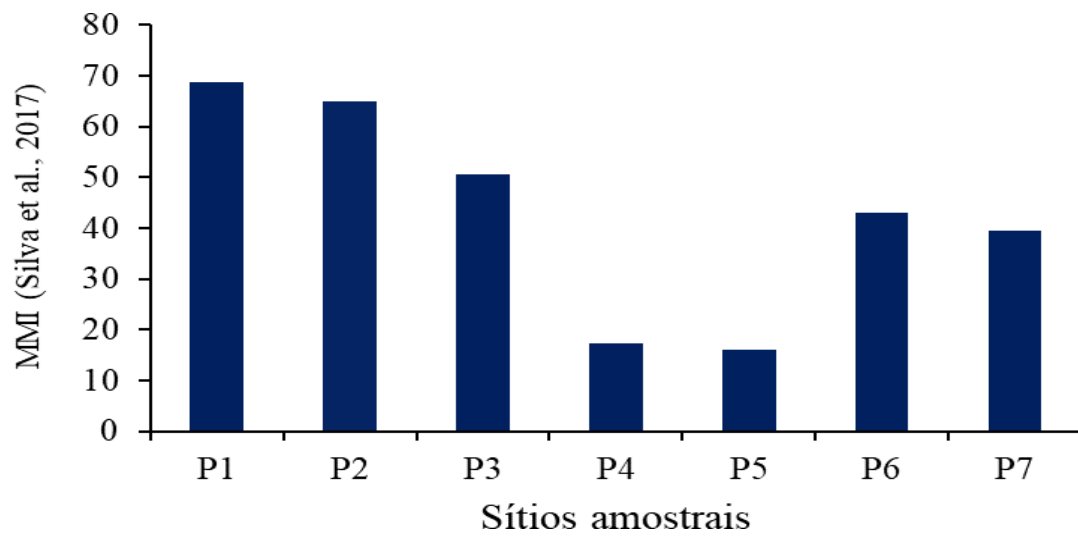
Os resultados do cálculo do índice multimétrico de Macedo et al. (2016) evidenciaram qualidade “Regular” nos sítios amostrais P1, P2, P3, e os sítios P4, P5, P6, e P7 foram classificados como “Ruim” (Fig.25). Os resultados do índice multimétrico de Silva et al. (2017) evidenciaram águas de boa qualidade nos sítios amostrais P1, P2, P3, P6 e P7 e qualidade da água regular nos sítios P4 e P5 (Fig.26).

Figura 25- Aplicação do índice multimétrico proposto por Macedo et al. (2016) nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26- Aplicação do índice multimétrico proposto por Silva et al. (2017) nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

7 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos corroboram as previsões da hipótese de que pressões antrópicas difusas na bacia do ribeirão Graipu afetam negativamente a qualidade de água e a diversidade de macroinvertebrados bentônicos. Portanto, trechos de rios minimamente alterados por atividades antrópicas possuem maior diversidade de habitats e maior abundância de grupos de bioindicadores sensíveis e tolerantes à poluição, caracterizando condições de referência. Por outro lado, trechos de rios em condições alteradas ou degradadas apresentaram pior qualidade de água, menor diversidade de habitats e abundância de bioindicadores resistentes à poluição.

Os sítios amostrais no alto ribeirão Graipu, Parque Estadual Serra da Candonga (PESC) e Reserva Legal Cenibra, evidenciaram as melhores condições ecológicas. Os sítios P1, P2, P3 e P4 foram classificados como ecossistemas em condições de referência, com base nos resultados da aplicação do Protocolo RAP. Nesses locais a vegetação ripária e a cobertura vegetal são bem preservadas, oferecendo maior estabilidade das margens e disponibilidade de bancos de folhas no leito dos cursos d'água. Essas características tendem a minimizar processos erosivos e de assoreamento nos cursos d'água, resultando em maior diversidade de habitats disponíveis para as comunidades de macroinvertebrados bentônicos (Callisto et al., 2021; Fernandes et al., 2022; Hamada et al., 2014).

O sítio amostral P5 foi classificado como alterado, refletindo condições ecológicas relacionadas a perturbação moderada por atividades humanas. Os sítios P6 e P7 foram classificados como impactados, devido a intensa perturbação antrópica, resultando em comprometimento da integridade ecológica e disponibilidade de bens e serviços ecossistêmicos a populações humanas ribeirinhas (CALLISTO et al., 2019b). Pressões por atividades humanas em sub-bacias de riachos são responsáveis por mudanças na qualidade de água e composição de bioindicadores bentônicos (Callisto et al., 2019b; Linares et al., 2022; Macedo et al., 2016; Silva et al., 2022).

Os modelos lineares generalizados (GLMs) explicaram o efeito dos impactos antrópicos sobre as variáveis bióticas das comunidades bentônicas (Macedo et al., 2014). Foi observado que os resultados da análise de causalidade apresentaram variações significativas ($p < 0,05$) nas métricas bióticas de riqueza taxonômica, abundância de indivíduos, BMWP, BMWP/ASPT, EPT e índice multimétrico (MMI) de Macedo et al., (2016) em função da variação do LDI. A variação nas métricas de abundância de indivíduos, BMWP, índice EPT, índice multimétrico (MMI) de Macedo et al., (2016),

podem ser explicadas pela variação do CDI. Assim como as variações nas métricas de riqueza taxonômica, abundância de indivíduos (Nº ind), BMWP, BMWP/ASPT, índice EPT, índice multimétrico (MMI) Macedo et al., (2016), podem ser explicadas pela variação do IDI, apresentando uma relação de causa e efeito sobre o uso do solo, inferindo sobre as comunidades de macroinvertebrados bentônicos (LIGEIRO et al., 2013).

Foi evidenciado que não houve relação significativa do índice multimétrico proposto por Silva e colaboradores 2017, em relação as métricas do índice de distúrbio local, distúrbio na bacia e drenagem e distúrbio integrado. Os fatores geodinâmicos (uso do solo) em uma bacia hidrográfica, influenciam processos geomorfológicos pois eles atuam em pequenas, médias e grandes escalas (distúrbio local, da bacia e integrado), na estruturação e em habitats físicos das comunidades aquáticas residentes (Allan, 2004; Macedo et al., 2014) além dos múltiplos usos da água (Macedo et al., 2014). Além disso, esses elementos governam a entrada de energia na bacia hidrográfica, influenciando a estruturação dos habitats locais, determinando a forma dos canais de rio e a conectividade em rede (ALLAN, 2004; CALLISTO et al., 2019a; GOLDSTEIN et al., 2007). Segundo Brown et al. (2009) e US-EPA (2013), assembleias de macroinvertebrados bentônicos são mais sensíveis a perturbações antrópicas em relação a outros organismos. Esse fato provavelmente está relacionado à mobilidade e fisiologia desses organismos, tornando-os mais sensíveis as pressões e estressores antropogênicos (Macedo et al., 2014; Silva et al., 2021).

A avaliação de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água evidenciou que os valores de pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido e nitrogênio total encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas classe 2, meta de enquadramento no Estado de Minas Gerais (DN COPAM/CERH 11/2022). A exceção foi o P5, que apresentou 4,59 mg/L de oxigênio dissolvido. De acordo com Paula et al. (2018), características como ausência e/ou substituição de mata ciliar, processos erosivos e baixa vazão, podem ser relacionados à baixa disponibilidade de oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. Este sítio amostral é limítrofe à estrada de escoamento de minério, exposto, portanto, a distúrbios antrópicos difusos de atividades de mineração na sub-bacia do Guaipu.

Os parâmetros fósforo total e DBO extrapolaram os limites para enquadramento de águas classe 2 pela Resolução Conama 357/2005 em todos os sítios amostrais (exceto em P2). De acordo com Sperling (2005) esses parâmetros ocorrem naturalmente em ambientes aquáticos, podendo ser associados a contaminação por lançamento de efluentes

domésticos, excrementos de animais e presença de matéria orgânica. Foi utilizada a normativa da CETESB, para avaliação do valor máximo permitido (VMP) de condutividade elétrica (CETESB, 2009), identificando extrapolação nos resultados dos sítios amostrais P1, P2, P3, P4 que de acordo com Tundisi & Tundisi (2008), podem ser associados as alterações de concentração iônica dispersos na água.

Os altos teores de sedimentos finos (fração silte + argila) nos sítios amostrais P3, P5, P6 e P7 podem ser relacionados à retirada da vegetação ripária nas sub-bacias dos sítios amostrais (BRITO et al., 2009), o que favorece a erosão do solo, assoreamento, perda de habitats físicos e redução da diversidade de organismos aquáticos (CALLISTO et al., 2019a; KRUPEK, 2006). O sítio amostral que apresentou maior concentração de matéria orgânica (12,43%) foi o P2, localizado na Reserva Legal APA Cenibra, característica relativa à densa mata ripária às margens do curso d'água, contribuindo com aporte de folhas, frutos, galhos e insetos (TUNDISI; TUNDISI, 2008). O sítio amostral P3 também apresentou altos teores de matéria orgânica no sedimento (9,77%). Provavelmente isso possa ser atribuído às características do local por se tratar de uma barragem de acumulação de água, formando um sistema semi-lêntico, com menor velocidade de água e acúmulo de matéria orgânica em relação aos demais sítios amostrais (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Os sítios amostrais que apresentaram maior riqueza taxonômica em relação aos demais sítios analisados foram os sítios P2 (19 famílias e 1 subclasse) e P3 (18 famílias e 1 subclasse), respectivamente. Isso pode estar relacionado às condições de referência desses locais. Além disso, no sítio P1, também classificado como ecossistema em condições de referência, foram coletadas larvas da família Helicopsychidae (Trichoptera), um *taxa* sensível classificado como raspador de algas perifíticas. Estes organismos alimentam-se de algas epibênticas (CUMMINS; MERRITT; ANDRADE, 2005; GRAÇA et al., 2018), e vivem em trechos com baixa correnteza (MUGNAI; NESSIMIAN; BAPTISTA, 2010).

Foi identificada maior abundância de macroinvertebrados bentônicos nos sítios amostrais P4 e P3 (398 e 240 indivíduos, respectivamente). De maneira geral, a ordem Diptera foi a mais abundante em todos os sítios amostrais. O sítio amostral P3 é caracterizado por ser uma barragem de contenção de água para abastecimento do SAAE e o P4 é afluente do ribeirão Graipu, antes da Barragem de Acumulação do SAAE.

Foram identificadas 7 famílias com padrões de distribuição aleatória, 11 famílias com distribuição agregada, 19 famílias com distribuição agregada aleatória e 1 família

com distribuição uniforme. A distribuição aleatória presente nas 7 famílias de macroinvertebrados bentônicos nos sítios amostrados do ribeirão Graipu, pode ser relacionada à diversidade de fatores como disponibilidade de alimento, período reprodutivo, predação e competição que agem junto a população da amostra (ODUM, 1985; ODUM; BARRETT, 2008), conforme a casualidade de variações sazonais de chuva. O padrão de distribuição agregada e agregada aleatória, pode ser atribuído à competição por disponibilidade de alimento e período reprodutivo (ODUM, 1985; ODUM; BARRETT, 2008). No caso hipotético em que nem todos os pontos de espaço têm a mesma probabilidade de serem ocupados por um organismo (Fernandes, 2019), pois há certos pontos onde as condições e fatores que afetam a sobrevivência são mais favoráveis que outros. Outra questão pode ser relacionada ao tamanho da amostra, populações agregadas precisam de amostras maiores, e planejadas com mais cuidado do que as populações não agregadas (ODUM, 1985; ODUM; BARRETT, 2007, 2008). O baixo número de famílias com distribuição uniforme nos sítios amostrados pode ser relacionada à severa competição por alimento entre indivíduos, podendo ser relacionado ao maior antagonismo positivo que promova um espaçamento uniforme (ODUM; BARRETT, 2008).

Os valores dos índices de diversidade de Shannon-Wiener e Simpson geralmente são sensíveis quando as comunidades são expostas a algum estressor ou mudança de habitat (ANDRADE, 2009). Os resultados desses índices evidenciaram que o sítio amostral P2 apresentou maior diversidade enquanto o P6 apresentou menor diversidade. O Índice de Equitabilidade de Pielou reflete a uniformidade de distribuição de indivíduos, tendo sido observada maior equitabilidade em P2 ($J' = 0,81$) e menor equitabilidade em P7 ($J' = 0,74$). A modificação de ecossistemas aquáticos influencia diretamente a diversidade e distribuição de espécies, podendo acarretar homogeneização do habitat levando à perda de diversidade biológica (França & Callisto, 2019). Foi observado que em locais onde a riqueza e abundância são baixas, o índice Equitabilidade de Pielou foi maior. De acordo com Ferreira et al., (2008) isso pode ser relacionado à baixa riqueza e abundância de indivíduos coletados, indicando homogeneização biótica.

Os valores de BMWP corroboram as condições de referência com águas de qualidade excelente nos sítios P1, P2 e P3. Nesses locais, as águas são bem oxigenadas indicando boas condições ambientais, favorecendo a sobrevivência de famílias de macroinvertebrados bentônicos sensíveis à poluição (Junqueira et al., 2000, 2018). De acordo com a classificação e pontuação do BMWP, o P4 foi classificado como águas de

classe III, indicando condições ambientais regulares. Essa classificação pode estar relacionada à ausência de organismos classificados como sensíveis (Callisto et al., 2021; Junqueira et al., 2018) neste local, diminuindo a pontuação desse índice biótico, mesmo que este sítio seja classificado como um sítio em condições de referência conforme o protocolo RAP, que avalia apenas condições físicas do ambiente (CALLISTO et al., 2002). Os critérios de classificação e pontuação do BMWP, classificaram os sítios amostrais P5 e P6 como águas de classe IV, indicando condições ambientais ruins e o P7 como águas de classe V, indicando péssimas condições para manutenção da vida aquática, corroborando as predições da hipótese deste estudo. Demonstrando que os ambientes aquáticos podem reagir a diferentes formas, frente aos impactos e influências antropogênicas, havendo tipificação dos cursos d'água em uma mesma bacia (Callisto et al., 2021; Cota et al., 2002; Junqueira et al., 2000; Monteiro et al., 2008).

O emprego do método BMWP/ASPT é uma alternativa simples e eficiente, quando se pretende um diagnóstico com respostas rápidas e economicamente viáveis (JUNQUEIRA et al., 2018). Os valores de BMWP-ASPT atestam as condições de referência e ótimas condições ambientais em P1. Os sítios P2 e P3 apresentaram classificação de qualidade de água “Boa”, pontuada para classe II. Os sítios P4, P5, P6 e P7 foram classificados como “Regular”, conferindo a eles os padrões de qualidade da classe III. A classificação do sítio amostral P4 pode estar relacionada à ausência de organismos classificados como sensíveis (Callisto et al., 2021; Junqueira et al., 2018) neste local, diminuindo a pontuação do BMWP/ASPT, mesmo sendo classificado como um sítio de referência conforme o protocolo RAP, que avalia apenas condições físicas do ambiente (CALLISTO et al., 2002). Os cursos d'água estudados na sub-bacia do trecho alto do ribeirão Graipu, demonstraram que, alguns trechos já se apresentam bastante comprometidos, principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos, remoção da vegetação ciliar e processos erosivos / assoreamento. No entanto, ainda existem sistemas lóticos relativamente preservados, servindo como áreas de referência para a restauração dos trechos alterados e impactados (SER, 2004), conforme proposto no procedimento operacional padrão (POP) apêndice I deste estudo.

Os resultados da classificação de macroinvertebrados em grupos tróficos funcionais evidenciaram maior abundância de organismos que se alimentam de partículas de detritos depositadas no fundo e em processo de decomposição, como algas, bactérias e/ou partículas de detritos em áreas deposicionais (MOPF). Os coletores catadores vivem imersos em seus recursos alimentares e, assim, têm pouca especialização quanto à

morfologia e seu comportamento alimentar (HAMADA; NESSIMIAN; QUERINO, 2014). Os resultados da razão de fragmentadores por total coletores (F/CF+CC) calculada foi maior porque há abundância de detritos foliares no leito dos riachos, nas chamadas “ilhas de biodiversidade”, locais onde os macroinvertebrados têm abrigo e alimento (LIGEIRO et al., 2020).

Os sítios amostrais com maiores valores das métricas de riqueza de EPT e índice EPT foram P1, P2, P3 e P4, indicando boas condições ambientais e de qualidade de água. O inverso ocorreu nos sítios P5, P6 e P7, corroborando com as predições deste estudo. Assim como as métricas, riqueza de resistentes e proporção Chironomidae / Oligochaeta reafirmando que sítios amostrais classificados como alterados e impactados como P5, P6 e P7, tendem a apresentar proporções mais elevadas de *taxa* resistentes. O percentual de larvas de Chironomidae foi elevado em todos os sítios amostrais, com exceção de P2 que ‘apresentou percentual de 5%. Esse fato pode estar associado às condições de referência deste trecho de rio. O P7 apresentou percentual de Chironomidae de 10%, podendo ser relacionado à baixa abundância de indivíduos encontrados neste trecho de riacho (29 organismos sendo, 13 Oligochaeta e 11 Glossiphoniidae).

Organismos sensíveis foram coletados nos sítios amostrais P1, P2, P3 e P4, corroborando as condições de referência diagnosticadas pelos resultados da aplicação do protocolo RAP de Callisto et al. (2002). Organismos resistentes e tolerantes foram observados nos sítios alterado (P5) e impactado (P6). A pontuação de organismos sensíveis no P7, se deu em função da identificação de uma ninfa de Odonata, família Aeshnidae. Aqui faltou dizer que em P5 foram pontuadas 2 ninfas de Odonata da família Cordulidae.

Martins et al. (2020) recomendam a aplicação de índices multimétricos como ferramenta de diagnóstico e monitoramento de bacias hidrográficas sob intensa atividade humanas. Esses índices integram em uma única medida vários componentes de comunidades de organismos residentes (p. ex. nº de espécies, dominância, composição taxonômica, grupos tróficos, mobilidade, tolerância, etc.) em resposta a variações ambientais naturais e pressões antrópicas (Macedo et al., 2016; Silva et al., 2017; Terra et al., 2013). De acordo com a avaliação do índice multimétrico (MMI) proposto por Silva et al. (2017) os sítios amostrais P1, P2, P3, P6 e P7 apresentaram um score de classificação para a qualidade da água como “boa” e os sítios P4 e P5 foram classificados como “regulares”. Por outro lado, os resultados obtidos na aplicação do MMI de Macedo et al. (2016) evidenciaram que, de maneira geral, todos os sítios amostrais encontram-se

em condições “regulares a ruins” quanto à qualidade das águas e integridade biótica. Os resultados dos índices podem ser ligeiramente contraditórios entre si, devido a peculiaridades e características biológicas nos sítios amostrais (Martins et al., 2020; Vadas et al., 2022).

8 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pela aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (RAP), análises de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água, composição e estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores, foi possível identificar que os sítios amostrais P7, P6 e P5, são os que apresentaram piores condições ecológicas com má qualidade de água.

Os resultados apresentados sobre o uso e cobertura do solo, demonstraram que as pressões por atividades humanas nas bacias, foram responsáveis por mudanças na qualidade de água e diversidade de bioindicadores bentônicos. Ressalta-se ainda que foi possível evidenciar que trechos de rios em condições de referência apresentaram maior diversidade de habitats e maior abundância de grupos sensíveis e tolerantes a poluição. O oposto ocorreu nos sítios em condições alteradas e degradadas, que apresentaram abundância de bioindicadores bentônicos resistentes à poluição e reduzida qualidade de água.

Esta dissertação de mestrado utilizou os macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água para o diagnóstico e caracterização da sub-bacia do ribeirão Graipu. Esses indicadores bióticos evidenciaram respostas a pressões por atividades humanas, permitindo o diagnóstico ambiental da bacia. Ressalta-se ainda que o monitoramento com a utilização de macroinvertebrados bentônicos é um método de avaliação vantajoso, uma vez que possui baixo custo, além de considerar aspectos espaciais e temporais; apresentando níveis variados de sensibilidade a poluentes e refletindo os impactos ocorridos no ambiente em escala temporal.

Os produtos técnicos gerados nesta dissertação de mestrado (Apêndice I), poderão subsidiar novas pesquisas na sub-bacia do ribeirão Graipu. São apresentadas informações inéditas e do interesse do município de Guanhães, que auxiliarão em futuros projetos de melhoria incluindo Programas de monitoramento, conservação e proteção dos cursos d'água. Neste contexto, é apresentado um diagnóstico e levantamento geral da sub-bacia por meio de mapas e análises bióticas de bioindicadores bentônicos. Além de orientações

por meio de um Procedimento Operacional Padrão-POP, propondo ações de revitalização e recuperação do trecho alto do ribeirão Graipu. Objetivando a melhoria e conservação da qualidade de água, aumento da vazão nos cursos d'água, conservação da biodiversidade aquática, garantindo bens e serviços para as populações humanas na sub-bacia.

9 RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Uma estratégia para proteção e manutenção a longo prazo dos sítios amostrais classificados como alterados e impactados na sub-bacia do ribeirão Guaipu, é que sejam implementados projetos de restauração dessas áreas conforme proposto no Apêndice I, por meio de produtos técnicos resultantes deste trabalho (POP- Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários utilizando os macroinvertebrados como bioindicadores e a roda da recuperação como ferramenta de restauração) que tem como proposta, ações de revitalização e recuperação do trecho alto do ribeirão Graipu, visando o aumento da vazão e a qualidade da água.

Os dados levantados neste estudo podem subsidiar o estabelecimento de um Programa Contínuo de Biomonitoramento de Qualidade de Água e Bioindicadores Bentônicos dos ecossistemas aquáticos. Objetivando a conservação e proteção de cursos d'água na sub-bacia do ribeirão Graipu, no qual o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), utiliza como captação para abastecimento do município de Guanhães em Minas Gerais.

É importante ainda a realização de trabalhos de educação ambiental considerando metodologias de Monitoramento Participativo (FRANÇA; CALLISTO, 2019) e ciência cidadã, fomentando atividades de conscientização ambiental, valorização de bens e serviços ecossistêmicos, utilizando a vida aquática como modelo de trabalho. Demonstrando os resultados obtidos ao longo do tempo com a restauração ecológica, controles e mitigação de impactos antrópicos em escala local e da bacia. Além disso, é de suma importância, implementar programas de monitoramento das áreas restauradas prevendo o monitoramento da fauna e flora (avaliação da resiliência de espécies aquáticas) e de qualidade da água, como forma de integrar-se com a paisagem e seus fluxos de matéria e organismos.

10 REFERÊNCIAS

ADAMS, S. M.; GREELEY, M. S. Ecotoxicological indicators of water quality: Using multi-response indicators to assess the health of aquatic ecosystems. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 123, n. 1–4, p. 103–115, 2000.

AGOURIDIS, C. T. et al. Aquatic Macroinvertebrates : Biological Indicators of Stream Health. **Agriculture and Natural Resources Publications**, v. 5, p. 1–5, 2015.

ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, n. 2002, p. 257–284, 2004.

ANA. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do BRASIL 2012**. Agência Na ed. Brasília-DF.

ANDRADE, C. C. **Macroinvertebrados bentônicos e fatores físicos e químicos como indicadores de qualidade de água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu (SP)**. Universidade Federal de São Carlos, 2009.

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. **Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water**, p. 1–2671, 2005.

BARBOUR, M. T.; FAULKNER, C.; GERRITSEN, J. Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish. **Environmental Protection Agency**, n. 2, p. 337, 1999.

BONADA, N. et al. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 495–523, 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA N° 357, De 17 De Março De 2005* (Retificada). **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, n. 204, p. 36, 2005.

BRASIL. **DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAMCERH/MG N° 8**,

DE 21 DE NOVEMBRO DE 2022 | 1.

BRITO, R. N. R. DE et al. Características sedimentares fluviais associadas ao grau de reservação da mata Ciliar - Rio Urumajó, Nordeste Paraense. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 173–180, 2009.

BROWN, L. R. et al. Urban streams across the USA: Lessons learned from studies in 9 metropolitan areas. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 28, n. 4, p. 1051–1069, 2009.

BUREK, P. et al. Water Futures and Solution. Fast Track Initiative – Final Report ADA Project Number 2725-00/2014. **Water Futures and Solution**, n. May, p. 1–113, 2016.

CALLISTO, M. et al. 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, 2002.

CALLISTO, M. et al. **Bases Conceituais para Conservação e Manejo de Bacias Hidrográficas.**

CALLISTO, M. et al. **Bases Conceituais para Conservação e Manejo de Bacias Hidrográficas.** Belo Horizonte: Cemig - Companhia Energética de Minas Gerais, 2019b.

CALLISTO, M. et al. Rapid ecological assessment of the water quality of the rio das Velhas. **Revista Espinhaço**, p. 1–23, 2021a.

CALLISTO, M. et al. Benthic macroinvertebrate assemblages detect the consequences of a sewage spill: a case study of a South American environmental challenge. **Limnology**, v. 23, n. 1, p. 181–194, 2021b.

CALLISTO, M. et al. Benthic macroinvertebrate assemblages detect the consequences of a sewage spill: a case study of a South American environmental challenge. **Limnology**, n. 0123456789, 2021c.

CALLISTO, M.; ESTEVES, F. Composição granulométrica do sedimento de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lago natural. **Acta Limnologica**, p. 115–126, 1996.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, J. F. A vida nas águas das montanhas. **Ciência Hoje**, p. 68–71, 2002.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, J. F.; MORENO, P. Invertebrados Aquáticos como Bioindicadores. **Projeto Manuelzão - UFMG**, p. 12, 2018.

CALLISTO, M.; GOULART, M.; MORETTI, M. Macroinvertebrados Bentônicos Como Ferramenta Para Avaliar a Saúde de Riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 71–82, 2001.

CARRERA, C.; FIERRO, K. **Macroinvertebrados Acuáticos**. v. 2

CASTILHO, A. S. R. A. et al. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce**.

CASTRO, J. E. Water governance in the twentieth-first century. **Ambiente e Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 97–118, 2007.

CETESB. Relatório de qualidade de águas superficiais: Apêndice D Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. In: **Cetesb**. São Paulo: v. disponível. 1–46.

CETESB. **O problema da escasez de água no mundo**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

CHRISTOFIDIS, D. Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade. In: **BAHIA ANÁLISE & DADOS**. Edição Esp ed. Salvador: p. 371–382.

CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, n. 106, p. 45–58, 2015.

COTA, L. et al. Rapid assessment of river water quality using an adapted BMWP index: a practical tool to evaluate ecosystem health. **SIL Proceedings, 1922-2010**, v. 28, n. 4, p. 1713–1716, 2002.

CUMMINS, K. W.; MERRITT, R. W.; ANDRADE, P. C. N. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in

south Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 40, n. 1, p. 69–89, 2005.

CUNHA, L. H. Inequalities in water access patterns and limits of water citizenship in rural communities in the semi-arid region. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 99–116, 2020.

DALE, V. H.; BEYELER, S. C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, v. 1, n. 1, p. 3–10, 2001.

DEVICTOR, V. et al. Defining and measuring ecological specialization. **Journal of Applied Ecology**, v. 47, n. 1, p. 15–25, 2010.

DUDGEON, D. et al. Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 81, n. 2, p. 163–182, 2006.

DUDGEON, D. Prospects for sustaining freshwater biodiversity in the 21st century: Linking ecosystem structure and function. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 5–6, p. 422–430, 2010.

FARIA, P. C. L. **Padrão Espacial de Populações**ParanáUniversidade Tecnológica Federal do Paraná, , 2008.

FEIO, M. J. et al. The Biological Assessment and Rehabilitation of the World ' s. **Water**, v. 13, n. 371, p. 1–6, 2021.

FERNANDES, A. et al. Avaliação ecológica rápida de qualidade de água do Rio Caraça como um ecossistema em condições de referência Ecological rapid assessment of water quality in Caraça river as a reference ecosystem. **Revista Espinhaço**, v. 11, n. 1, 2022.

FERNANDES, M. G. **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE INSETOS: PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO; ÍNDICES DE AGREGAÇÃO.**, 2019.

FERREIRA, E. V. et al. Composição, diversidade e similaridade florística de uma floresta tropical semidecídua submontana em Marcelândia - MT. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 673–679, 2008.

FERREIRA, W. .; PAIVA, L. .; CALLISTO, M. Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 15–25, 2011.

FERREIRA, W. R. et al. **Influência de habitats fluviais na distribuição da riqueza e na alimentação de macroinvertebrados bentônicos em riachos de cabeceira no Cerrado**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais**.2015

FISCHER, M. L. et al. Crise hídrica em publicações científicas: olhares da bioética ambiental. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 3, p. 586, 23 jun. 2016.

FISCHER, M. L. et al. Crise hídrica: a culpa é de quem? A percepção das responsabilidades em espaço de deliberação virtual. **Caminhos de Diálogo**, v. 9, n. 15, p. 225–247, 28 nov. 2021.

FRANÇA, J. S.; CALLISTO, M. Coleção de macroinvertebrados bentônicos : ferramenta para o conhecimento da biodiversidade em ecossistemas aquáticos continentais. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 2, n. 1, p. 3–10, 2007.

FRANÇA, J. S.; CALLISTO, M. **Monitoramento participativo de rios urbanos por estudantes-cientistas**. Belo Horizonte: Juliana Silva França, 2019.

GALDEAN, N.; CALLISTO, M.; BARBOSA, F. Lotic ecosystems of serra do cipó, southeast brazil: Water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, n. 4, p. 545–552, 2000.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: Conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avancados**, v. 29, n. 84, p. 43–68, 2015.

GARCIA, J. M. et al. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 1, p. 228–254, 2018.

GOLDSTEIN, R. M. et al. Can basin land use effects on physical characteristics of streams be determined at broad geographic scales? **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 130, n. 1–3, p. 495–510, 2007.

GONÇALVES, F. B.; MENEZES, M. S. DE. A comparative analysis of biotic indices that use macroinvertebrates to assess water quality in a coastal river of Paraná state, southern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 4, p. 27–36, 2011.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em Estudos de Impacto Ambiental. **Revista da FAPAM**, 2003.

GRAÇA, M. A. S. et al. Top-down and bottom-up control of epilithic periphyton in a tropical stream. **Freshwater Science**, v. 37, n. 4, p. 857–869, 2018.

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. INPA ed. Manaus-AM.

HAMADA, N.; THORP, J. H.; ROGERS, D. C. **Keys to Neotropical Hexapoda. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates**.

HANASHIRO, F. T. T. **Efeitos da distribuição de manchas de folhas na estrutura de macroinvertebrados bentônicos de riachos**. Universidade Federal de São Carlos, 2010.

HEPP, L. U. et al. **Macroinvertebrados Bentônicos Como Bioindicadores**. XVII sim. Brasil. de Recursos Hídricos. **Anais** 2007.

HOLT, E. A. **Bioindicadores: Usando Organismos para Medir Impactos Ambientais**. Disponível em: <<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicators-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310/>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

HUGHES, R. M. et al. A Review of Urban Water Body Challenges and Approaches: (2) Mitigating Effects of Future Urbanization. **Fisheries**, v. 39, n. 1, p. 30–40, 2014.

IBGE. **Dados do IBGE: Município de Guanhães**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/guanhaes/panorama>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

IBGE. **Estimativa de população_ Município de Guanhães_Avaliação em 2021**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/guanhaes/panorama>>. Acesso em: 21 jan. 2022.

IGAM. **Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Suaçuí -**

DO4. Disponível em: http://comites.igam.mg.gov.br/images/mapas/Mapas_PDF/Localizacao_GD1_A3.pdf. Acesso em: 22 jan. 2022.

IGAM. **Comitês de Bacias Hidrográficas do Suaçui/MG.** Disponível em: <https://www.cbhsuacui.org.br/a-bacia>. Acesso em: 20 maio. 2022b.

JUNQUEIRA, M. V et al. **Biomonitoramento da qualidade das águas da bacia do Alto Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados** *Acta Limnologica Brasiliensia*, 2000.

JUNQUEIRA, M. V et al. Índices bióticos para avaliação de qualidade de água de rios tropicais – síntese do conhecimento e estudo de caso: Bacia do alto rio Doce. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 49, p. 15–33, 2018.

KARR, J. R. Defining and measuring river health. **Freshwater Biology**, v. 41, n. 2, p. 221–234, 1999.

KAUFMANN, P. R. et al. Quantifying Physical Habitat in Wadeable Streams. **EPA/620/R-99/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.**, n. July, p. 130, 1999.

KING, R. S.; BAKER, M. E. Use, Misuse, and Limitations of Threshold Indicator Taxa Analysis (TITAN) for Natural Resource Management. In: **Application of Threshold Concepts in Natural Resource Decision Making**. 9781489980p. 1–324.

KREBS, C. J. **Ecological Methodology**. Second Edition. Columbia: University of British Columbia, 1989.

KRUPEK, R. A. Avaliação da Cobertura Ripária de Rios e Riachos da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras, Região Centro-Sul do Estado do Paraná Evaluation of the Waterside Cover of Rivers and Streams in the Pedras River Hydrographic Basin, Mid-South Region of Paraná St. **Ravista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, 2006.

KUHLER, A. W.; MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. Aims and Methods of Vegetation Ecology. **Geographical Review**, v. 66, n. 1, p. 114, 1974.

LEITÃO, R. P. et al. Rare species contribute disproportionately to the functional structure of species assemblages. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.

283, n. 1828, 2016.

LEITE, F. P. et al. **Soil water regime under stand of eucalypts, natural forest and pasture** *Revista árvore*, 1997.

LIGEIRO, R. et al. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. **Ecological Indicators**, v. 25, p. 45–57, 2013.

LIGEIRO, R. et al. Choice of field and laboratory methods affects the detection of anthropogenic disturbances using stream macroinvertebrate assemblages. **Ecological Indicators**, v. 115, n. December 2019, p. 106382, 2020.

LINARES, M. S. et al. What physical habitat factors determine the distribution of gastropods in neotropical headwater streams? **Water Biology and Security**, n. August, p. 100076, 2022.

LÓPEZ-LÓPEZ, E.; SEDEÑO-DÍAZ, J. E. Biological Indicators of Water Quality: The Role of Fish and Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality. In: **Environmental Indicators**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. p. 643–661.

MACEDO, D. R. et al. The relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in cerrado biome streams. **Landscape Ecology**, v. 29, n. 6, p. 1001–1016, 2014a.

MACEDO, D. R. et al. Sampling site selection, land use and cover, field reconnaissance, and sampling. In: CALLISTO, M. et al. (Eds.). . **Ecological conditions in hydropower basins. Serie Peixe Vivo 3**. Belo Horizonte, Brazil: Companhia Energética de Minas Gerais, 2014b. p. 61–83.

MACEDO, D. R. et al. Development of a benthic macroinvertebrate multimetric index (MMI) for Neotropical Savanna headwater streams. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 132–141, maio 2016.

MACEDO, D. R. et al. Urban stream rehabilitation in a densely populated Brazilian metropolis. n. September, p. 1–16, 2022.

MAGURRAN, A. E. Development of indicators of biological diversity. **Nature**, v. 202,

n. 4927, p. 14, 1999.

MAGURRAN, A. E. **Measuring Biological Diversity**. Blackwell ed. Oxford (UK).

MAPBIOMAS. **MapBiomass_Delimitação territorial em Guanhães**. Disponível em: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>> Acesso em: 5 jun. 2022.

MARTINS, I. et al. Are multiple multimetric indices effective for assessing ecological condition in tropical basins ? **Ecological Indicators**, v. 110, n. November 2019, p. 105953, 2020.

MARTINS; MACEDO, ;; CALLISTO, ; **A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco RISCO RELATIVO E EXTENSÃO DE PERDA DE BIODIVERSIDADE NA BACIA DO RIO PANDEIROS, TRIBUTÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO**. III Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Anais**. Belo Horizonte: 2020. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

MERRIT, R. W.; CUMMINS, K. W.; CAMPBELL, E. Uma abordagem funcional para a caracterização de Riachos Brasileiros. In: HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. (Eds.). **Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. p. 724.

MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W.; CAMPBELL, E. Y. Uma Abordagem Funcional para a Caracterização e Riachos Brasileiros. **Insetos Aquáticos na Amazônia Brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**, p. 69–87, 2014.

MONDY, C. P.; MUÑOZ, I.; DOLÉDEC, S. Life-history strategies constrain invertebrate community tolerance to multiple stressors: A case study in the Ebro basin. **Science of the Total Environment**, v. 572, p. 196–206, 2016.

MONTEIRO, T. R.; OLIVEIRA, L. G.; GODOY, B. S. BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS: ADAPTAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO BMWP' À BACIA DO RIO MEIA PONTE-GO. **Oecol. Bras.**, v. 12, n. 3, p. 553–563, 2008.

MORAIS, L. et al. Assessment of disturbance at three spatial scales in two large tropical reservoirs. **Journal of Limnology**, v. 76, n. 2, p. 240–250, 2017.

MORENO, P.; CALISTO, M. **Insetos Aquáticos indicam saúde dos cursos d'água** *Scientific American Brasil*, 2010.

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro**. Technical ed. Rio de Janeiro.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

ODUM, E. P. **Ecologia**. 1^a ed. Rio de Janeiro.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos da Ecologia**. São Paulo.

ORMEROD, S. J. et al. Multiple stressors in freshwater ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 55, n. SUPPL. 1, p. 1–4, 2010.

PAULA, F. R. DE et al. Multi-scale assessment of forest cover in an agricultural landscape of Southeastern Brazil: Implications for management and conservation of stream habitat and water quality. **Ecological Indicators**, v. 85, n. November 2017, p. 1181–1191, 2018.

PAZINI, J. B. **Estudo do Comportamento espacial de Tibraca Limbativentris STAL, 1860 (Hemiptera: Pentatomidae)**. Universidade Federal do Pampa, 2012.

RAMÍREZ, A.; GUTIÉRREZ-FONSECA, P. E. Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: A critical analysis and review of existing literature. **Revista de Biologia Tropical**, v. 62, n. April, p. 155–167, 2014.

RESH, V. H. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 138, n. 1–3, p. 131–138, 2008.

RIBEIRO, W. C.; SANTOS, C. L. S.; SILVA, L. P. B. Conflito pela água, entre a escassez e a abundância: Marcos teóricos. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 1, n. 2, p. 11–37, 2019.

RODRIGUES, A. S. D. L.; MALAFAIA, G.; CASTRO, P. D. T. A. Avaliação ambiental de trechos de rios na região de Ouro Preto-MG através de um protocolo de avaliação

rápida. **Revista de estudos ambientais**, v. 10, n. 1, p. 74–83, 2008.

RODRIGUEZ, G. et al. Going underwater: Multiple origins and functional morphology of piercing-sucking feeding and tracheal system adaptations in water scavenger beetle larvae (Coleoptera: Hydrophiloidea). **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 193, n. 1, p. 1–30, 2021.

ROSENBERG, D. .; RESH, V. . Freshwater Biomonitoring Using Individual Organisms, Populations, and Species Assemblages of Benthic Macroinvertebrates. **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates.**, v. 40, p. 158, mar. 1993.

ROSENBERG, D. .; RESH, V. . Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.**, p. 195–233, 2001.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. . Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. (eds.). **Journal of Applied Probability**, v. 32, n. 1, p. 10–12, 2013.

SANTANA, M. P. M.; DANTAS, J. O. Insetos aquáticos como indicadores da qualidade dos ecossistemas dulcícolas do Estado de Sergipe. **Revista Multidisciplinar da saúde**, p. 2–18, 2014.

SANTOS, I. G. A.; RODRIGUES, G. G. Colonização de macroinvertebrados bentônicos em detritos foliares em um riacho de primeira ordem na Floresta Atlântica do nordeste brasileiro. **Iheringia - Serie Zoologia**, v. 105, n. 1, p. 84–93, 2015.

SER. Fundamentos de Restauração Ecológica SER 2. In: **Sociedade Internacional para Restauração Ecológica**. p. 18.

SILVA, D. R. O. et al. An improved macroinvertebrate multimetric index for the assessment of wadeable streams in the neotropical savanna. **Ecological Indicators**, v. 81, n. December 2016, p. 514–525, 2017a.

SILVA, D. R. O. et al. An improved macroinvertebrate multimetric index for the assessment of wadeable streams in the neotropical savanna. **Ecological Indicators**, v. 81, n. December 2016, p. 514–525, out. 2017b.

SILVA, F. . et al. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, p. 1626–1653, 2021a.

SILVA, L. F. R. et al. Functional responses of Odonata larvae to human disturbances in neotropical savanna headwater streams. **Ecological Indicators**, v. 133, n. July, p. 108367, 2021b.

SILVA, L. F. R. et al. Ecological thresholds of Odonata larvae to anthropogenic disturbances in neotropical savanna headwater streams. **Hydrobiologia**, v. 133, n. 0123456789, 13 dez. 2022.

SOUSA, J. A. C.; COMINOTE, M.; MORETTI, M. S. Spatial distribution of termite mounds in a Tabuleiro Forest, northern Espírito Santo. v. 12, p. 256–258, 2014.

SOUZA, M. J. H. DE et al. Relação entre disponibilidade hídrica e produtividade do eucalipto em diferentes idades, em Guanhães, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 629–638, 2006.

SPERLING, M. V. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamen ed. Belo Horizonte.

STARK, J. et al. **Protocols for sampling macroinvertebrate s in wadeable streams**. Auckland-New Zealand.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. Ed. Edgard ed.

TERRA, B. D. F. et al. Assessment of biotic condition of atlantic rain forest streams: A fish-based multimetric approach. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 136–148, 2013.

THOMPSON, S. A.; THOMPSON, G. G.; WITHERS, P. C. Rehabilitation index for evaluating restoration of terrestrial ecosystems using the reptile assemblage as the bio-indicator. **Ecological Indicators**, v. 8, n. 5, p. 530–549, 2008.

TONELLO, K. et al. Diagnóstico hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, município de Guanhães, MG, Brasil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 1, p. 156–168, 30 abr. 2009.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia I**. Oficina de ed. São Paulo.

US-EPA. **United States Environmental Protection Agency 2013. National Rivers and Streams Assessment 2013-2014: Field Operations Manual- Wadeable**. EPA-841-B-12-009b. **Anais...** Washington, DC: 2013

VADAS, R. L. et al. Assemblage-based biomonitoring of freshwater ecosystem health via multimetric indices: A critical review and suggestions for improving their applicability. **Water Biology and Security**, v. 1, n. 3, 2022.

VARGAS, J.; JÚNIOR, P. Aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida na Caracterização da Qualidade Ambiental de Duas Microbacias do Rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 1, p. 161–16, 2012.

ANEXO A: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats

Quadro 1: Quadro 1: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EUA) (EPA, 1987). (Obs.: 4 pontos (situação natural), 2 e 0 pontos (situações leve ou severamente alteradas)).

Descrição do Ambiente			
Localização:			
Data de Coleta: / /		Hora da Coleta:	
Tempo (situação do dia):			
Modo de coleta (coletor):			
Tipo de Ambiente: Córrego () Rio ()			
Largura média:			
Profundidade média:			
Temperatura da água:			
PARÂMETROS	PONTUAÇÃO		
	4 pontos	2 pontos	0 ponto
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principalatividade)	Vegetação natural	Campo pastagem/Agricultura/ Monocultura/ Reflorestamento	Residencial/ Comercial/ Industrial
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	Ausente	Moderada	Acentuada
3. Alterações antrópicas	Ausente	Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)	alterações de origem industrial/ urbana (fábricas, siderurgias, canalização, retificação do curso do rio)
4. Cobertura vegetal no leito	Parcial	Total	Ausente
5. Odor da água	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	óleo/industrial
6. Oleosidade da água	Ausente	Moderada	Abundante
7. Transparência da água	Transparente	turva/cor de chá-forte	opaca ou colorida
8. Odor do sedimento (fundo)	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	óleo/industrial
9. Oleosidade do fundo	Ausente	Moderado	Abundante
10. Tipo de fundo	pedras/cascalho	Lama/areia	cimento/canalizado

Quadro 2: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo de Hannaford et al. (1997). (Obs.: 5 pontos (situação natural), 3, 2 e 0 pontos (situações leve ou severamente alteradas).

PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 ponto
11. Tipos de fundo	Mais de 50% com habitats diversificados; pedaços de troncos submersos; cascalho ou outros habitats estáveis.	30 a 50% de habitats diversificados; habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos.	10 a 30% de habitats diversificados; disponibilidade de habitats insuficiente; substratos frequentemente modificados.	Menos que 10% de habitats diversificados; ausência de habitats óbvia; substrate rochoso instável para fixação dos organismos.
12. Extensão de rápidos	Rápidos e corredeiras bem desenvolvidas; rápidos tão largos quanto o rio e com o comprimento igual ao dobro da largura do rio.	Rápidos com a largura igual à do rio, mas com comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Trechos rápidos podem estar ausentes; rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Rápidos ou corredeiras inexistentes.
13. Frequência de rápidos	Rápidos relativamente frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 5 e 7.	Rápidos não frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 7 e 15.	Rápidos ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 15 e 25.	Geralmente com lâmina d'água "lisa" ou com rápidos rasos; pobreza de habitats; distância entre rápidos dividida pela largura do rio maior que 25.
14. Tipos de substrato	Seixos abundantes (prevalecendo nascentes).	Seixos abundantes; cascalho comum.	Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns seixos presentes.	Fundo pedregoso; seixos ou lamoso.
15. Deposição de lama	Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama.	Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama.	Entre 50 e 75% do fundo coberto por lama.	Mais de 75% do fundo coberto por lama.
16. Depósitos sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama; ausência de deposição nos remansos.	Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente como aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30% do fundo afetado; suave deposição nos remansos.	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens; entre 30 a 50% do fundo afetado; deposição moderada nos remansos.	Grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens; mais de 50% do fundo modificado; remansos ausentes devido à significativa deposição de sedimentos.
17. Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes; evidência de modificações há mais de 20 anos.	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado.	Margens modificadas; acima de 80% do rio modificado.
18 Características do fluxodaságuas	Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio; mínima quantidade de substrato exposta.	Lâmina d'água acima de 75% do canal do rio; ou menos de 25% do substrato exposto.	Lâmina d'água entre 25 e 75% do canal do rio, e/ou maior parte do substrato nos "rápidos" exposto.	Lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.
19. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas; mínima evidência de deflorestamento; todas as plantas atingindo a altura "normal".	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa; deflorestamento evidente mas não afetando o desenvolvimento da vegetação; maioria das plantas atingindo a altura "normal".	Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa; deflorestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada; menos da metade das plantas atingindo a altura "normal".	Menos de 50% da mata ciliar nativa; deflorestamento muito acentuado.
20 Estabilidade das margens	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% da margem afetada.	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.	Moderadamente instável; entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.	Instável; muitas áreas com erosão; frequentes áreas descobertas nas curvas do rio; erosão óbvia entre 60 e 100% da margem.
21. Extensão de mata ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18 m; sem influência de atividades antrópicas (agropecuária, estradas, etc.).	Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m; mínima influência antrópica.	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m; influência antrópica intensa.	Largura da vegetação ripária menor que 6 m; vegetação restrita ou ausente devido à atividade antrópica.
22. Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos pelo leito.	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídas no rio, substrato com perifiton.	Algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras ou alguns remansos, perifiton abundante e biofilme.	Ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos macrófitas (p.ex. aguapé).

ANEXO B: Composição granulométrica

Tabela 13- Composição granulométrica de sedimentos e teores de matéria orgânica nos 7 sítios amostrais coletados do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Composição granulométrica	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Cascalho (%)	0,66	26,65	1,83	4,08	0,17	4,28	4,76
AMG (%)	10,90	30,97	4,24	13,07	0,61	7,40	3,64
AG (%)	25,16	24,31	7,40	32,34	5,98	7,06	4,35
AM (%)	27,17	14,44	13,21	22,79	31,76	10,95	3,41
AF (%)	25,35	2,86	46,79	18,90	55,53	41,67	10,23
AMF (%)	10,07	0,52	24,54	8,19	5,15	25,78	69,93
Silte + Argila (%)	0,69	0,25	1,98	0,63	0,81	2,87	3,67
M. Orgânica (% p.s.)	5,21	12,43	9,77	7,33	5,25	5,36	8,63

ANEXO C: Composição taxonômica

Tabela 16- Composição taxonômica e grupos tróficos funcionais nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Táxons		Sítios amostrais						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Ordem/Classe/Subclasse								
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	7	11	10	0	0	0	0
	Leptohyphidae	4	0	0	0	0	0	0
	Baetidae	1	1	81	0	0	0	0
	Caenidae	0	0	0	1	0	3	0
	Leptoceridae	10	1	4	1	0	0	0
Plecoptera	Gripopterygidae	1	0	0	0	0	0	0
	Perlidae	2	1	0	0	0	0	0
Trichoptera	Helichopsychidae	3	0	0	0	0	0	0
	Hydropsychidae	4	13	8	66	0	1	0
	Odontoceridae	2	0	2	0	0	0	0
	Hydroptilidae	0	0	1	0	0	0	0
	Calamoceratidae	0	1	0	0	0	0	0
	Polycentropodidae	0	2	0	0	0	0	0
Odonata	Corduliidae	0	0	0	0	2	0	0
	Gomphidae	10	0	1	0	0	0	1
	Libellulidae	0	1	3	0	0	0	0
	Calopterygidae	1	0	0	0	0	0	0
	Perilestidae	0	0	0	0	0	1	0
	Aeshnidae	0	1	1	0	0	0	1
Heteroptera	Veliidae	0	2	0	0	0	0	0
	Naucoridae	7	0	0	3	0	0	0
	Mesoveliidae	0	0	15	0	0	0	0
	Helotrephidae	0	0	0	1	0	0	0
	Gerridae	0	0	1	0	0	0	0
Coleoptera	Hydrophilidae	0	0	0	0	19	2	0
	Elmidae	16	4	1	6	0	0	0
	Hydrophiloidea	0	5	0	0	0	0	0
Megaloptera	Corydalidae	1	1	0	0	0	0	0
Diptera	Chaoboridae	0	0	3	4	0	0	0
	Tipulidae	0	12	0	10	0	2	0
	Chironomidae	152	10	80	269	135	158	3
	Empididae	0	0	0	6	7	0	0
	Ceratopogonidae	4	1	4	4	10	2	0
	Psychodidae	0	0	0	1	1	0	0
	Simuliidae	0	2	2	19	6	2	0
Oligochaeta	Oligochaeta	0	22	13	1	14	17	13
Gastropoda	Planorbidae	1	0	0	0	0	5	0
Bivalvia	Hyriidae	0	0	1	0	9	3	0
Hirudinida	Glossiphoniidae	0	0	9	5	13	38	11
Acari	Hydracarina	0	1	0	1	1	0	0
Lepidoptera	Pyralidae	0	4	0	0	1	0	0
Abundância total (ind)		226	96	240	398	218	234	29

APÊNDICE I-PRODUTO TÉCNICO E TECNOLÓGICO

APRESENTAÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO E TECNOLÓGICO

O produto técnico idealizado foi baseado na dissertação apresentada ao programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental. O público-alvo (solicitante) que será beneficiado por meio das informações apresentadas, são os gestores e funcionários do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Guanhães- Minas Gerais. Trata-se de informações inéditas nunca mapeadas no município, que subsidiaram projetos de melhoria do monitoramento, conservação e proteção dos cursos d'água do ribeirão Graipu, principal curso d'água que o SAAE utiliza como captação para abastecimento. O produto traz além do diagnóstico e levantamento geral da sub-bacia por meio de mapas e análises bióticas dos bioindicadores bentônicos, orientações por meio de um Procedimento Operacional Padrão-POP, propondo ações de revitalização e recuperação do trecho alto do ribeirão Graipu, visando o aumento da vazão e a qualidade da água.

DEFINIÇÃO CAPES- EIXO 1

De acordo com a CAPES (2019) os produtos técnicos ou tecnológicos concebidos para o atendimento ao EIXO 1, devem apresentar resultados palpáveis de uma atividade docente ou discente, podendo ser realizado de forma individual ou em grupo. O produto deve ser algo tangível e deve ser confeccionado previamente ao recebimento pelo cliente/receptor, que só terá acesso após a conclusão dos trabalhos. Caracteriza-se pelo desenvolvimento de produto técnico ou tecnológico, passível ou não de proteção, podendo gerar ativos de propriedade industrial/ propriedade intelectual.

CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO (PTT)

Segundo a CAPES (2019), há cinco critérios que auxiliam na validação de um produto técnico-tecnológico (PTT), a saber: aderência (obrigatório), aplicabilidade, impacto, inovação e complexidade. A aderência de um PTT está relacionada com a linha de pesquisa e o projeto desenvolvido no âmbito do programa de pós-graduação. Dessa maneira, os produtos elaborados tem estreita relação com o tema “Ecologia Aplicada”, abrangendo os núcleos temáticos de pesquisa: Estudos em agroecossistemas, Limnologia,

Ecologia de Ecossistemas Aquáticos e uso de bioindicadores (macroinvertebrados bentônicos).

FINALIDADE DO PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO

O presente produto, tem por finalidade oferecer ao SAAE uma ferramenta prática de mapeamento das áreas (por meio dos mapas produzidos) e um planejamento a médio e longo prazo de áreas a serem restauradas por meio da avaliação da qualidade ecológica de ecossistemas aquáticos no trecho alto do ribeirão Graipu (Guanhães/ MG) utilizando abordagem de Avaliação Ecológica Rápida e bioindicadores bentônicos, que subsidiará informações para retomada do programa “Graipu Água e Vida”, idealizado pela SAAE. Neste produto é apresentado também, uma base de informações sólidas e consolidadas para aplicação em programas de Educação Ambiental na sub-bacia, além de, propor a ampliação o biomonitoramento da sub-bacia do ribeirão Graipu, estendendo para os trechos médio e baixo e, propor medidas de restauração ecológica nos ecossistemas classificados como alterados e impactados de acordo com o estudo.

APLICABILIDADE DO EIXO 1 NOS PRODUTOS APRESENTADOS

- 1. Aderência:** Os produtos técnicos elaborados a partir desta dissertação de mestrado, estão relacionados às atividades inerentes a linha de pesquisas, possuem estreita relação com o tema “Ecologia Aplicada”, abrangendo os núcleos temáticos de pesquisa: Estudos em Agroecossistemas, Limnologia, Ecologia de Ecossistemas Aquáticos e uso de bioindicadores (macroinvertebrados bentônicos).
- 2. Impacto:** Os produtos foram elaborados baseado nas necessidades técnicas e operacionais apresentadas na reunião de kick-off pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Guanhães- Minas Gerais.
 - 2.1. Demanda:** A presente demanda foi contratada pelo cliente financiador do projeto de pesquisa.
 - 2.2. Objetivo da pesquisa:** Os produtos apresentados tem como objetivo, oferecer ferramentas para mitigação/solução de um problema previamente diagnosticado através deste trabalho de dissertação do curso de mestrado profissional em Sustentabilidade e Tecnologia ambiental do IFMG.
 - 2.3. Área impactada pela produção:** Os produtos apresentam impactos sociais e econômicos positivos ao município de Guanhães em Minas Gerais, por meio do

Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), utilizando as informações apresentadas nestas produções técnicas.

3. **Aplicabilidade:** O público-alvo (solicitante) que será beneficiado por meio das informações apresentadas, são os gestores e funcionários do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Guanhães- Minas Gerais.
4. **Inovação:** Os produtos idealizados possuem um arcabouço de informações inéditas nunca mapeadas no município, que subsidiarão projetos de melhoria do monitoramento, conservação e proteção dos cursos d'água do ribeirão Graipu, principal curso d'água que o SAAE utiliza como captação para abastecimento para o município.
5. **Complexidade:** Além do diagnóstico da sub-bacia, os produtos trazem orientações para ações de recuperação visando maximizar o volume e qualidade das águas captadas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Guanhães.

FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA
2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,
desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05
Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff deAlmeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

IMAGENS

Catalogação - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

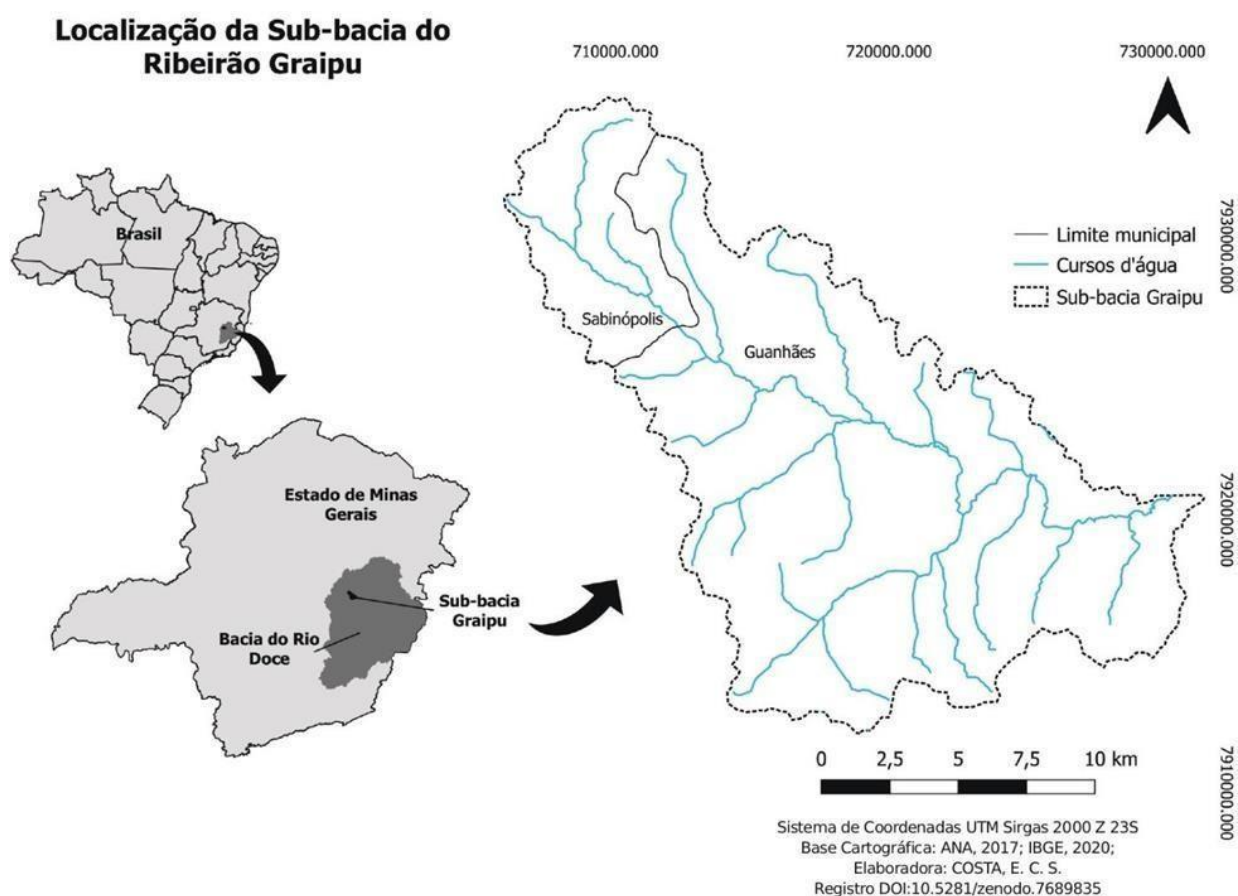


Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

PRODUÇÕES TÉCNICAS

ATENDIMENTO AO ITEM 2 DO EIXO 1 DA CAPES- LOCALIZAÇÃO DA SUB-BACIA E MAPEAMENTO DE CURSOS D'ÁGUA.

O mapa produzido, foi baseado nas necessidades sobre o mapeamento das áreas de estudo conforme disposto na dissertação apresentada ao programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental. O público-alvo (solicitante) que será beneficiado por meio das informações apresentadas, são os gestores e funcionários do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Guanhães- Minas Gerais. Trata-se de informações inéditas nunca mapeadas no município, que subsidiaram projetos de melhoria do monitoramento, conservação e proteção dos cursos d'água do ribeirão Graipú, principal curso d'água que o SAAE utiliza como captação para abastecimento.



FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA
2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,
desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05
Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

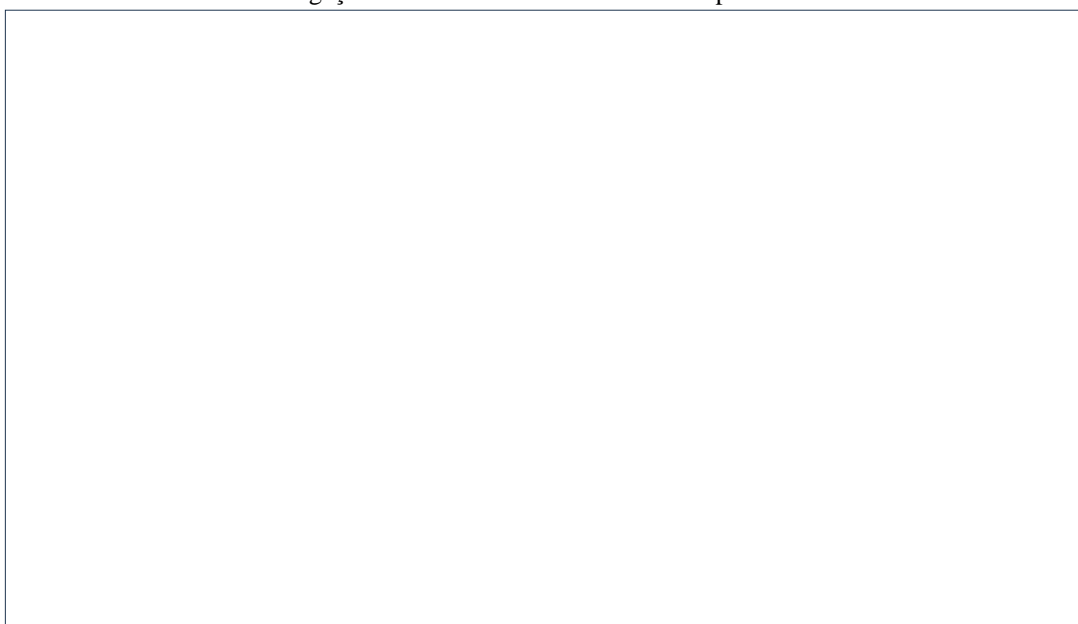
Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff deAlmeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

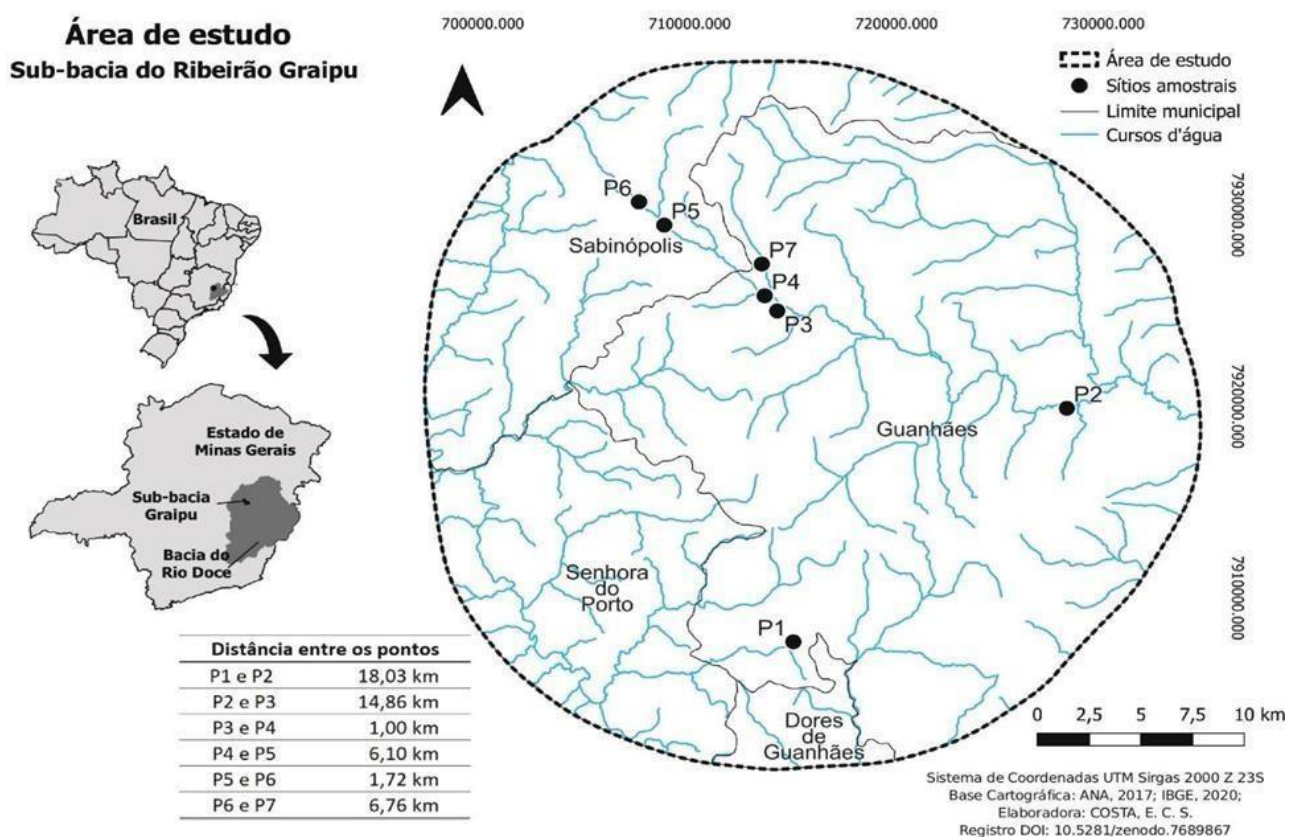
IMAGENS

Catálogo - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí



ATENDIMENTO AO ITEM 2 DO EIXO 1 DA CAPES- MAPEAMENTO DE TODA ÁREA DE ESTUDO, ALTO RIBEIRÃO GRAIPU.

O mapa produzido, foi baseado nas necessidades sobre o mapeamento das áreas de estudo conforme disposto na dissertação apresentada ao programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental. O público-alvo (solicitante) que será beneficiado por meio das informações apresentadas, são os gestores e funcionários do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Guanhães- Minas Gerais. Trata-se de informações inéditas nunca mapeadas no município, que subsidiaram projetos de melhoria do monitoramento, conservação e proteção dos cursos d'água do ribeirão Graipú, principal curso d'água que o SAAE utiliza como captação para abastecimento.



FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA
2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,
desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05
Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

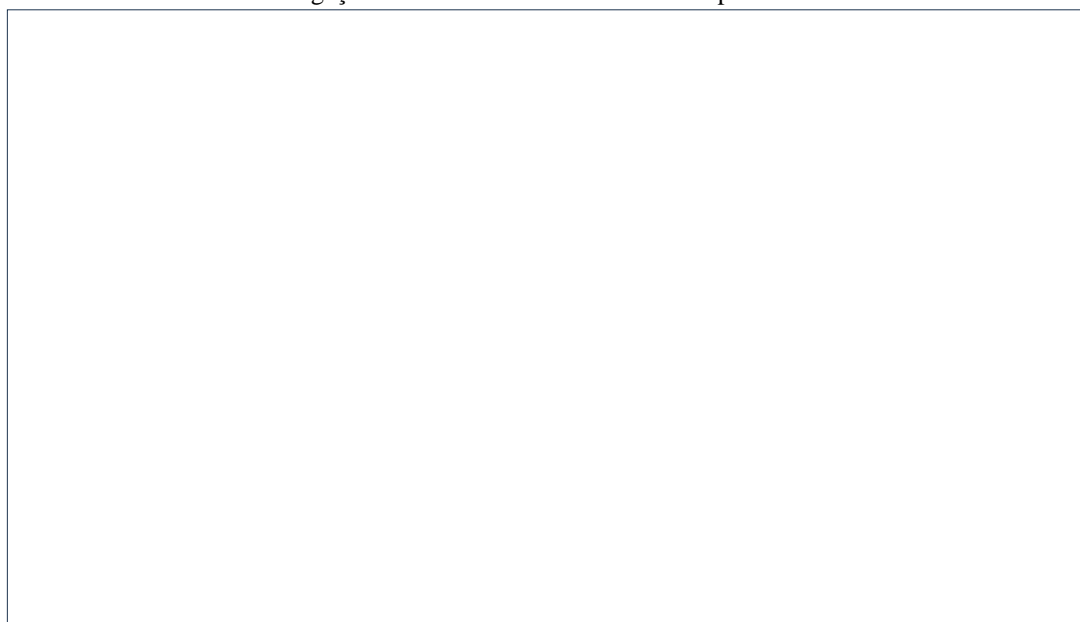
Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff deAlmeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

IMAGENS

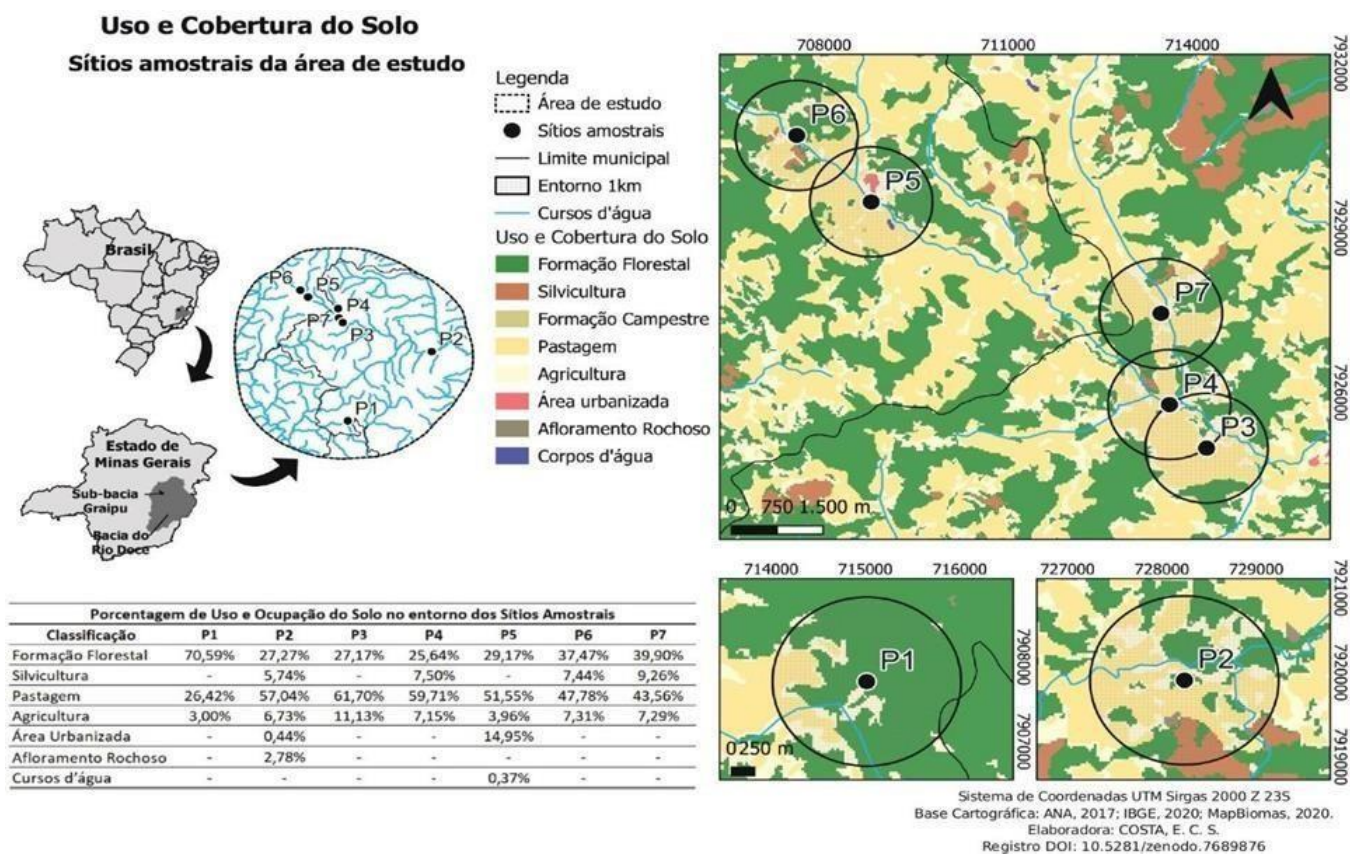
Catálogo - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí



Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

ATENDIMENTO AO ITEM 2 DO EIXO 1 DA CAPES- MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO PARA AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE DISTÚRBO LOCAL (LDI), DISTÚRBO NA BACIA DE DRENAGEM (CDI) E ÍNDICE DE DISTÚRBO INTEGRADO (IDI).

O mapa produzido, foi baseado nas necessidades sobre o mapeamento das áreas de estudo conforme disposto na dissertação apresentada ao programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental. O público-alvo (solicitante) que será beneficiado por meio das informações apresentadas, são os gestores e funcionários do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Guanhães- Minas Gerais. Trata-se de informações inéditas nunca mapeadas no município, que subsidiaram projetos de melhoria do monitoramento, conservação e proteção dos cursos d'água do ribeirão Graipú, principal curso d'água que o SAAE utiliza como captação para abastecimento.



FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA
2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,
desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05
Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff deAlmeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

IMAGENS

Catalogação - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí



Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

ATENDIMENTO AO ITEM 5 DO EIXO 1 DA CAPES- DECLARAÇÃO DE IMPACTO DA PRODUÇÃO TÉCNICA

Reconhecimento do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Guanhães em Minas Gerais, sobre todas as produções técnicas e trabalhos desenvolvidos ao longo do projeto de pesquisa aplicado no ribeirão Graipú.



SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO GUANHÃES - MG

DECLARAÇÃO DE IMPACTO DE PRODUÇÃO TÉCNICA OU TECNOLÓGICA

Declaramos para os devidos fins que, todo material produzido (mapas e relatórios técnicos mensais) até o presente momento, pela aluna Elisangela Cristina da Silva Costa, estudante vinculada ao programa de Mestrado profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, foram de suma importância para a caracterização da subbacia do ribeirão Graipú no município de Guanhães em Minas Gerais.

Informamos também que o trabalho executado é inovador nesta área de estudo, e tem contribuído significativamente com um grande arcabouço de informações.

Sendo assim, atestamos o significativo impacto das produções técnicas realizadas até o presente momento.

Guanhães, 05 de dezembro de 2022.


 José Geraldo Coelho Ventura
 Presidente – SAAE Guanhães

FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA
2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,
desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05
Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

IMAGENS

Catálogo - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí



Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

ATENDIMENTO AO ITEM 8 DO EIXO 1 DA CAPES- DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DIDÁTICO E INSTRUCIONAL

O produto técnico foi elaborado para apresentação na feira de Negócios Multissetoriais, sob demanda do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). O público-alvo que será beneficiado por meio das informações apresentadas, são alunos e funcionários do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Guanhães- Minas Gerais. Trata-se de informações inéditas nunca mapeadas no município, que subsidiaram projetos de melhoria do monitoramento, conservação e proteção dos cursos d'água do ribeirão Graipú, principal curso d'água que o SAAE utiliza como captação para abastecimento.



Monitoramento da qualidade de água do Ribeirão Graipú com enfoque nos macroinvertebrados bentônicos



Coordenadoras: Dra. Grazielle Wolff e Dra. Patrícia Gomes (IFMG-SJE); Engª Elisa P.B. Mesquita (SAAE)
Equipe: Mestranda Elisângela Cristina S. Costa; Graduandos Danielle Maria Rocha; Emanuel Junior Barroso, Júnia Alves de Almeida; Layla P. Silva e Raquel da Silva Lacerda

O QUE SÃO OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS?

Grupo de organismos que vivem no sedimento de corpos d'água e cuja presença, quantidade e distribuição indicam a qualidade e integridade ambiental (Callisto et al, 2004). Por isso são chamados de bioindicadores.

PORQUE MONITORÁ-LOS?

Para utilizar a resposta desses organismos como indicadores da qualidade da água e relacionar com o uso e ocupação da bacia hidrográfica e assim propor ações de melhorias.

MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS



Figura 01 - Exemplos de macroinvertebrados bentônicos encontrados em rios. Grupo azul: organismos sensíveis. Grupo marrom: organismos tolerantes. Grupo vermelho: organismos resistentes à poluição da água. Fonte: França e Callisto (2019).

O TRABALHO DE CAMPO



Figura 02 - A e B) Coleta de macroinvertebrados bentônicos. C) Coleta de variáveis físico-químicas da água *in situ*.

O TRABALHO EM LABORATÓRIO

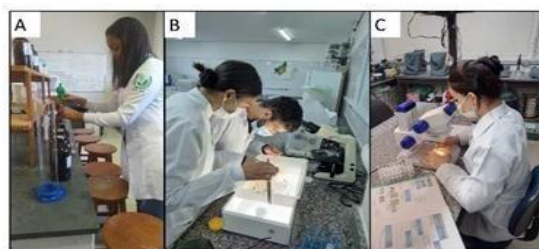


Figura 03 - A) Análise da qualidade da água B) Triagem dos organismos C) Identificação dos organismos.

O QUE JÁ ENCONTRAMOS?



Figura 04 - A) Plecoptera encontrado no ponto referência (PESC) B) Evidências de Trichoptera encontrados próxima à captação do SAAE. C) Ephemeroptera encontrado próximo à captação do SAAE. D) Odonata encontrada próxima à nascente do R. Vermelho. E) Larvas de Diptera encontradas no R. Vermelho. F) Annelida encontrada no médio Ribeirão Graipú após passar pela cidade de Guanhães.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Ecologia de Bentos e ao Prof. Dr. Marcos Callisto (UFMG).



SERVICO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO
GUANHÃES – MG

CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO

Certificamos que **Bruno Fernandes de Oliveira, Danielle Maria Rocha, Elisa de Pinho Barroso Mesquita, Elisangela Cristina da Silva Costa, Emanuel Júnior Barroso, Grazielle Wolff, Jéssica Soares de Souza, Junia Alves de Almeida, Layla Pereira da Silva e Patrícia Pereira Gomes** apresentaram o trabalho “**Monitoramento da qualidade de água do Ribeirão Graipu com enfoque nos macroinvertebrados bentônicos**”, nos dias 18, 19 e 20 de agosto de 2022, no stand do SAAE Guanhanes na Guanhanes Multinegócios, Feira de Negócios Multissetoriais realizada pela ACIG - Associação Comercial e Empresarial de Guanhanes.

Guanhanes, 22 de agosto de 2022.



José Geraldo Coelho Ventura
Presidente – SAAE Guanhanes

FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA

2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05
Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

IMAGENS

Catálogo - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí



Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

ATENDIMENTO AO ITEM 8 DO EIXO 1 DA CAPES- DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DIDÁTICO E INSTRUCIONAL.

O produto técnico foi elaborado para apresentação na Semana de Biologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia- Campus São João Evangelista. O público-alvo que será beneficiado por meio das informações apresentadas, são alunos e funcionários do Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Guanhães- Minas Gerais. Trata-se de informações inéditas nunca mapeadas no município, que subsidiaram projetos de melhoria domonitoramento, conservação e proteção dos cursos d'água do ribeirão Graipú, principal curso d'água que o SAAE utiliza como captação para abastecimento.



USO E OCUPAÇÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO GRAIPU, GUANHÃES-MG

SILVA, Layla P. ¹; COSTA, Elisângela Cristina S. ²; MESQUITA, Elisa P. B. ³; PEREIRA, Patrícia Gomes ¹; WOLFF, Grazielle ¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. ; ²estudante do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental IFMG; ³Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE Guanhães

INTRODUÇÃO

Para a proposição de ações de recuperação dentro de uma bacia hidrográfica, é necessária a sua caracterização através da análise de mapas de uso e ocupação do solo. O uso da terra afeta a produção e qualidade da água, sendo esse um fator relevante na caracterização das áreas a fim de subsidiar projetos de manejo (Moreira et al., 2015).

O Ribeirão Graipú, localizado no município de Guanhães MG, é um afluente do rio Corrente Grande que deságua no rio Doce e é o principal corpo hídrico que o SAAE tem como ponto de captação de água porém há ausência de informações que indiquem a atual situação desta bacia.

OBJETIVO

• Caracterizar a bacia do Graipú através da construção e análise do mapa de uso e ocupação do solo a fim de entender o cenário atual em que se encontra a bacia e assim subsidiar informações para futuros projetos na área.

METODOLOGIA

> Área de estudo

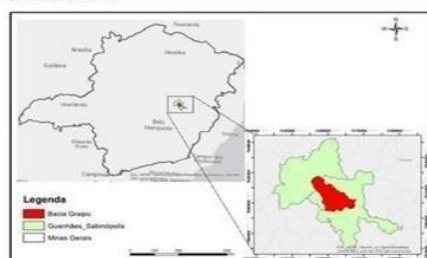


Figura 01- Localização da microbacia do ribeirão Graipú dentro dos municípios de Guanhães e Sabinópolis.

> Delimitação da bacia e uso e ocupação do solo

- Uso do sistema de Informação Geográfica (SIG), através do software ArcGIS 10.3®
- Imagens Landsat 8 de fevereiro de 2021.
- Classificação do tipo Máxima Verossimilhança em (1) Pastagem, (2) Solo Exposto Urbano, (3) Solo exposto, (4) Vegetação Gramínea, (5) Vegetação Nativa, (6) Vegetação Plantada, (7) Vegetação Queimada, (8) Água Natural, e (9) Água Turva, utilizando a ferramenta *training sample manager*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO



Figura 02- Microbacia do ribeirão Graipú e seus principais tributários.

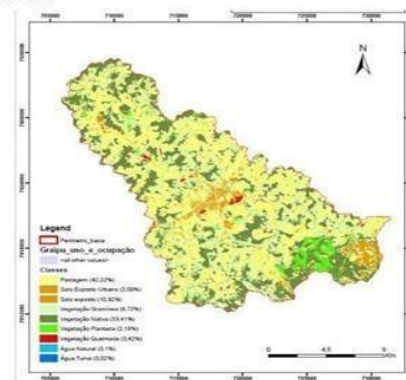


Figura 03 - Mapa de uso e ocupação da bacia do ribeirão Graipú

CONCLUSÃO

A delimitação da bacia e construção do mapa de uso e ocupação permitiu observar que a bacia possui uso primordial agrossilvopastoril e encontra-se degradada, principalmente em sua porção alta, o que pode levar a diminuição da infiltração de água nas áreas de recarga e assim, agravar a produção de água na bacia, diminuindo o fluxo do ribeirão.

AGRADECIMENTOS

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guanhães (SAAE-Guanhães)



SERVICO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO
GUANHÃES – MG

CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO

Certificamos que **Elisa de Pinho Barroso Mesquita, Elisangela Cristina da Silva Costa, Grazielle Wolff, Layla Pereira da Silva e Patrícia Pereira Gomes** apresentaram o trabalho “**Uso e ocupação da bacia do ribeirão Graipu, Guanhanes-MG**”, nos dias 18, 19 e 20 de agosto de 2022, no stand do SAAE Guanhanes na Guanhanes Multinegócios, Feira de Negócios Multissetoriais realizada pela ACIG - Associação Comercial e Empresarial de Guanhanes.

Guanhanes, 22 de agosto de 2022.



Jose Geraldo Coelho Ventura
Presidente – SAAE Guanhanes

FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA
2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,
desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05
Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

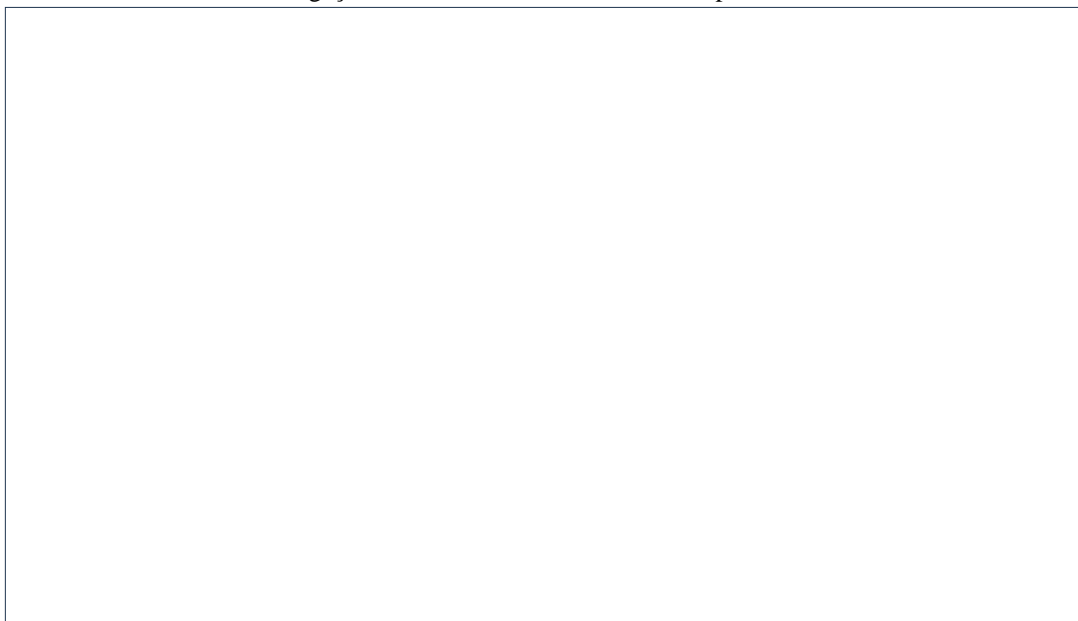
Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff deAlmeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

IMAGENS

Catálogo - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí





IV Conferência Brasileira de
**RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA**
RESTAURAÇÃO
MULTIFUNCIONAL e
MUDANÇAS CLIMÁTICAS

28/11 a 2/12 | Vitória, ES

certificado

Certificamos que o trabalho intitulado **AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO GRAIPÚ (MG): UMA PROPOSTA DE CONSERVAÇÃO DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE (APP's)** de autoria de: **Jaciely Gabriela Melo da Silva; Elisangela Cristina da Silva Costa; José Mauro Santana Silva; Grazielle Wolff de Almeida Carvalho** foi apresentado na **IV Conferência Brasileira de Restauração Ecológica** com o tema central "**Restauração Multifuncional e Mudanças Climáticas**", realizado no Centro de Convenções de Vitória no período de 28 de novembro a 02 de dezembro de 2022, na cidade de Vitória/ES.

Vitória, 02 de dezembro de 2022.


Marfa Otávia Crepaldi


Marcos Sossai



Consulte a autenticidade deste documento
web.eventogyn.com.br/event/sobre2022/certificate
Código de Segurança: **092.422.650.688**

REALIZAÇÃO



APOIO

Programa de Gestão
Integrada das Águas e
de Paisagem



FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA

2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

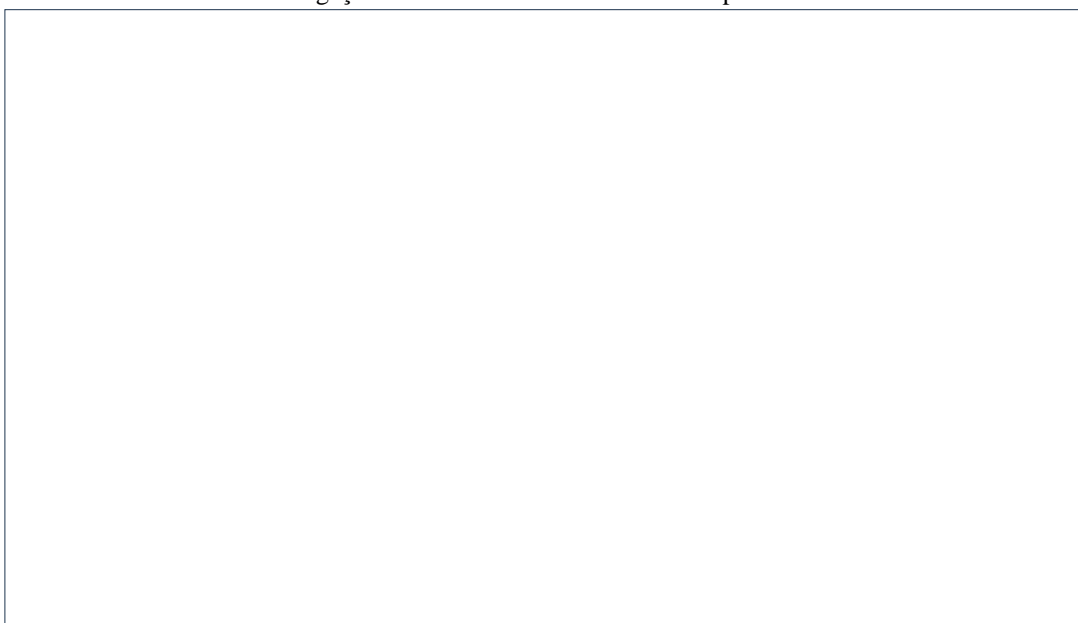
Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

IMAGENS

Catlogação - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí



ATENDIMENTO AO ITEM 8 DO EIXO 1 DA CAPES- DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL DIDÁTICO E INSTRUCIONAL- PRODUÇÃO DE UM CAPÍTULO DO LIVRO “DIÁLOGOS E PRÁTICAS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS”, EDITORA IFMG, 2022. ISBN: 978-65-5876-164-8

O presente capítulo foi elaborado baseado nas necessidades de divulgação dos trabalhos, apresentadas na reunião de kick-off pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Guanhães- Minas Gerais. O produto apresenta impactos sociais e econômicos positivos ao município de Guanhães em Minas Gerais, por meio do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), utilizando as informações apresentadas nestas produções técnicas.

USO E OCUPAÇÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO GRAIPU, GUANHÃES-MG

Layla Pereira da Silva⁴⁶

Elisangela Cristina da Silva Costa⁴⁷

Elisa de Pinho Barroso Mesquita⁴⁸

Patrícia Pereira Gomes⁴⁹

Grazielle Wolff⁵⁰

INTRODUÇÃO

A demanda por novas áreas para ocupação humana como moradias e/ou instalação de atividades agroindustriais é crescente devido ao acelerado crescimento populacional, e essa realidade acaba implicando em ocupações desordenadas e pressões sobre os recursos naturais impactando negativamente a bacia hidrográfica, seja sua biota, qualidade do solo ou dos recursos hídricos (NASCIMENTO; FERNANDES, 2017).

A região Sudeste, é a mais populosa do Brasil e nela está inserida a bacia do rio Doce, que compreende os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. A bacia do Rio Doce, apesar de ser uma das principais bacias hidrográficas da região, apresenta um grau de degradação ambiental em estágio avançado, já que nela estão inseridas diversas atividades minerárias e industriais, grandes centros urbanos além de diversas atividades agrárias como pecuária extensiva e silviculturas. Devido sua importância, elevado grau de perturbação e fragilidade, é de fundamental importância ações que visem a recuperação de suas microbacias para que todos os tributários do rio Doce estejam com seus ecossistemas saudáveis (IGAM, 2010).

⁴⁶ Bacharel em Engenharia Florestal. Atuação em projetos de geoprocessamento e mapeamento aéreo com drone. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8134654329505351>

⁴⁷ Mestranda em Sustentabilidade com ênfase em Ecologia aplicada à conservação de ecossistemas aquáticos. Pós-graduanda em Restauração, Licenciamento e Adequação Ambiental. Graduada em Biologia. Bolsista do projeto P&D ANEEL/CEMIG GT-599: Processos ecológicos (Projeto PROECOS). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7730929588450706>

⁴⁸ Mestranda em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos – Prof.ª Agua. Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária. Atualmente é Assessora de Gestão Ambiental e Assessora Técnica Operacional no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guanhães/MG. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9718829191970375>

⁴⁹ Dra. e Mestra em Ecologia. Graduada em Ciências Biológicas. Docente no IFMG – Campus São João Evangelista. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2586311599614035>

⁵⁰ Dra. e Mestra em Ecologia Aplicada. Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental. Docente no IFMG – Campus São João Evangelista. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3142268654701014>

Para a proposição de ações de recuperação dentro de uma bacia hidrográfica, é necessária sua caracterização por meio da análise de mapas de uso e ocupação do solo. O uso da terra, incluindo o tipo de vegetação e atividades antrópicas, afeta a produção e qualidade da água dentro de uma bacia hidrográfica, sendo esse um fator relevante na caracterização das áreas a fim de subsidiar projetos de manejo (MOREIRA *et al.*, 2015).

O Ribeirão Graipu, localizado no município de Guanhães em Minas Gerais, é um afluente do rio Corrente Grande que deságua no rio Doce. O Graipu é o principal corpo hídrico que o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) tem como ponto de captação de água para tratamento e distribuição para toda cidade.

Sabe-se que ao longo do tempo, a bacia do Ribeirão Graipu, veio sofrendo diversas interferências antrópicas em toda sua extensão. O desmatamento de matas ciliares e matas em topos de morro, queimadas, erosão do solo por pastagens e monoculturas, pisoteio do gado em nascentes, assoreamento em leitos d'água, além da poluição por agrotóxicos, são os principais fatores de degradação do entorno do corpo hídrico (SAAE, 2006). É urgente a necessidade de intervenções e aplicação de projetos de revitalização que assegurem a regularização das vazões e a melhoria da qualidade do corpo hídrico, porém há ausência de informações que indiquem a atual situação desta bacia.

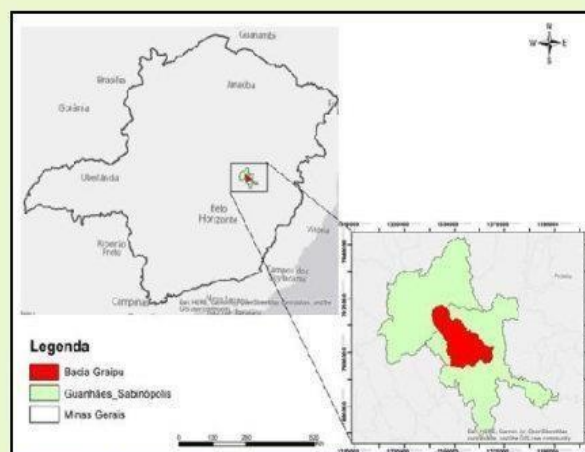
Com isso, o objetivo desse trabalho foi caracterizar a bacia do Graipu por meio da construção e análise do mapa de uso e ocupação do solo a fim de entender o cenário atual em que se encontra a bacia e assim subsidiar informações para futuros projetos na área.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido na microbacia do Graipu que está localizada entre os municípios de Guanhães e Sabinópolis, na região centro-nordeste de Minas Gerais (18° 48' S e 42° 58' W), em uma altitude média de 852 m (Figura 1).

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região possui um clima predominantemente tropical chuvoso savânico (Aw), com inverno seco e chuvas abundantes no verão (TONELLO *et al.*, 2006). A precipitação média anual é de 1.212 mm e a temperatura média de 22,2° C (Souza *et al.*, 2006). A bacia está inserida no bioma Mata Atlântica, e na Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, dentro da Bacia do Rio Doce.

Figura 1 - Localização da microbacia do ribeirão Graipú dentro dos municípios de Guanhães e Sabinópolis



Fonte: IDE-SISEMA, 2022.

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Graipu foi realizada utilizando o sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio do *software* ArcGIS 10.3®. Obteve-se a imagem orbital do projeto Topodata, no qual são disponibilizados dados de radar interferométricos da SRTM refinados por krikagem para todo o território nacional, o que não aumenta o nível de detalhamento do modelo, mas resulta em uma superfície com coerência de suas propriedades angulares entre as células adjacentes, fator primordial em análise morfométrica.

Para a elaboração do mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Graipu foi utilizado o Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000, fuso 23S com coordenadas planas em *Universal Transversa Mercator* – UTM, tendo como origem das coordenadas as linhas do Equador e Meridiano de Greenwich. As imagens de satélite utilizadas foram obtidas do Landsat 8, satélite lançado em Fevereiro de 2021.

O processamento das imagens foi realizado utilizando o programa ArcGis 10.3. Para o tratamento das imagens dos produtos do satélite Landsat 8 foram utilizadas aquelas obtidas a partir do sensor OLI. Foi realizada a composição colorida RGB. As imagens foram salvas e, posteriormente, introduzidas em um projeto SIG e, assim, foram georreferenciadas utilizando pontos coordenados por meio da ferramenta *Georeferencing*. Após a atualização geográfica realizou-se a união das imagens através da ferramenta *Mosaic to new raster*, dentro do *ArcToolBox – Data Management Tools – Raster – Raster Dataset*. Para obtenção de uma imagem em

alta resolução, foi realizada a fusão da banda pancromática e as imagens georreferenciadas do *Google Earth*®.

Com as imagens compostas, foi realizado um recorte das imagens dentro do perímetro da bacia hidrográfica do Graipu e, dessa forma, foi possível obter a cena de interesse. A classificação utilizada para a imagem do satélite Landsat 8 foi do tipo Máxima Verossimilhança – Classificação Supervisionada – e, para isso, utilizou-se a ferramenta *Classification*. O processo para a classificação das imagens foi iniciado coletando as amostras das imagens, classificando-as em (1) Pastagem, (2) Solo Exposto Urbano, (3) Solo exposto, (4) Vegetação Gramínea, (5) Vegetação Nativa, (6) Vegetação Plantada, (7) Vegetação Queimada, (8) Água Natural, e (9) Água Turva, utilizando a ferramenta *training sample manager*, gerando um arquivo de assinatura.

Após a classificação, obteve-se um *raster*. Este tipo de classificação pode gerar ruídos, ou seja, uma má classificação de algumas áreas, assim, para se obter um resultado final coerente com a realidade, se fez necessária uma revisão manual da classificação, que só é possível com a transformação da imagem em um arquivo vetorizado. A vetorização foi realizada pela ferramenta *raster to polygon*. A partir desse procedimento foi possível classificar manualmente os polígonos gerados, permitindo assim a correção dos valores onde a classificação supervisionada não obteve sucesso.

A imagem obtida, por meio da fusão entre a banca pancromática e a imagem georreferenciada do *Google Earth*®, foi utilizada para a obtenção dos espelhos d'água. Por ter uma resolução superior, possibilitou a geração de um arquivo vetorizado dos lagos e represamentos do curso dos rios dentro da bacia hidrográfica. Tendo em mãos a classificação da imagem do satélite, foi utilizada a função *erase*, descontando as áreas do polígono vetorizado obtidas pela imagem de fusão. Este fator é de extrema importância para a quantização em porcentagem total da bacia. Assim, realizou-se a união do *shape* resultante do processo *erase* com o *shape* dos espelhos d'água, obtendo o resultado final da classificação de uso e ocupação do solo na bacia estudada.

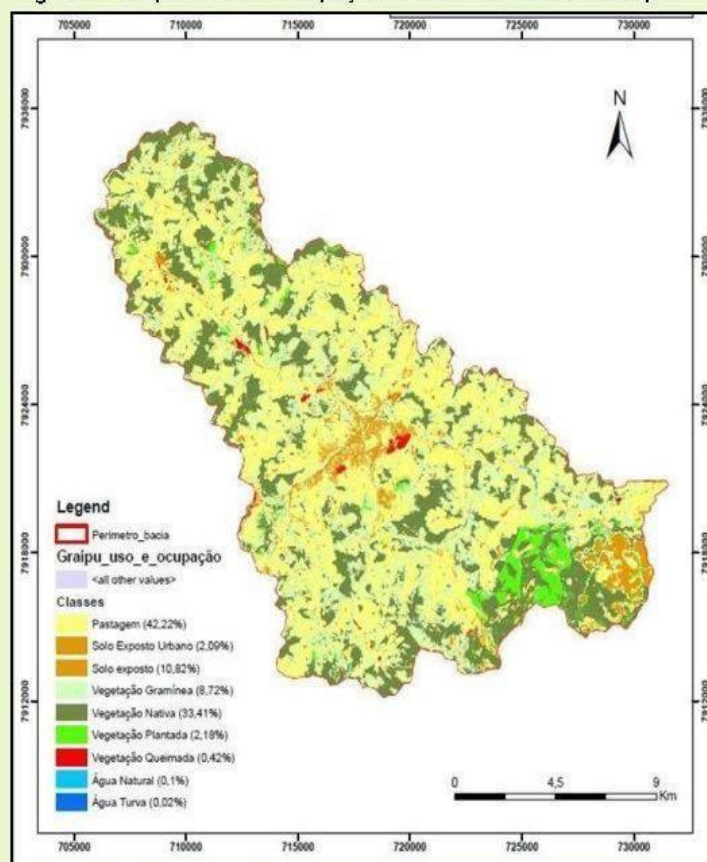
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região da microbacia do ribeirão Graipú (Figura 02) está inserida no bioma Mata Atlântica (IBGE, 2019), considerado um importante "hotspot" de biodiversidade, devido à elevada riqueza e abundância de espécies, espécies

localizado o rio Aricanga e Canastra que nascem nas proximidades do Parque Estadual do Candonga e Parque Municipal da Pedra da Gafurina. É uma área agrária com prática de criação de búfalos nas regiões de nascentes. Nessa região ainda há o ribeirão Cachoeira das Pombas que nasce numa região de preservação da CENIBRA, sendo este o tributário menos poluído do Graipu. Ainda no baixo Graipu, ocorre o lançamento de efluentes tratados da ETE do SAAE, e apresenta a maior porcentagem de cobertura de mata nativa e mata plantada.

Analisando o mapa de uso e ocupação, estima-se que 42% da bacia seja utilizada para pastagens, 33% com mata nativa, 10% é solo exposto e as demais atividades somam 15% do uso e ocupação do solo, sendo apenas 2% utilizado para área urbana (Figura 03).

Figura 3 - Mapa de uso e ocupação da bacia do ribeirão Graipu.



Fonte: Elaborada pelas autoras, 2022.

Em um levantamento de caracterização do ecossistema hidrológico da microbacia do ribeirão Graipu realizado em 2004 foi observado estágio de degradação ambiental considerável em

função do uso do solo, no qual foram observados 48% da área da bacia utilizada para pastagem e 45% com cobertura de mata nativa (Gomes e Valente, 2004). Observa-se que ao longo do tempo, trechos da vegetação de cabeceira e topos de morro foram substituídos por pastagens em função das extensas atividades agropecuárias, além da expansão da área de solo exposto e diminuição da cobertura vegetal nativa. Os prejuízos ambientais dessa alteração da paisagem podem acarretar em aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração de água no solo, elevando o risco de inundações, erosão e carreamento de sedimentos prejudicam a produção e qualidade da água na bacia.

CONCLUSÕES

A bacia do Graipu, apesar de sua pequena extensão, é de suma importância para a população de Guanhães, uma vez que ele é a principal fonte de captação de água para o tratamento e abastecimento público. A delimitação da bacia e construção do mapa de uso e ocupação permitiu observar que a bacia possui uso primordial agrossilvopastoril e encontra-se degradada, principalmente em sua porção alta, o que pode levar à diminuição da infiltração de água nas áreas de recarga e assim, agravar a produção de água na bacia, diminuindo o fluxo do ribeirão. Recomenda-se o mapeamento dos diferentes empreendimentos causadores de impacto na bacia, como as mineradoras, e assim, em conjunto com o mapa de uso e ocupação, fomentar maiores informações sobre o cenário real da bacia.

AGRADECIMENTOS

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guanhães (SAAE-Guanhães).

REFERÊNCIAS

GOMES, M. A.; VALENTE, O. F. Levantamento e caracterização do ecossistema hidrológico da bacia do ribeirão Graipú. **Relatório Técnico**, 2004.

IBGE. **Dados do IBGE: Município de Guanhães**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Secretaria Especial de Articulação Social. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/guanhaes/panorama>

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 5 abr. 2022.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce**. Volume I. Relatório Final. Belo Horizonte: IGAM, 2010. 478 p. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/969>

LEITE, F. P.; DE BARROS, N. F.; AGUILAR SANS, L. M.; FABRES, A. S. Soil water regime under stand of eucalypts, natural forest and pasture. **Revista árvore**, v. 21, n 4, p. 455–462, 1997.

MOREIRA, T. R.; SANTOS, A.R.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F.; SANTOS, G.M.A.D.A.; EUGÊNIO, F. C. Confronto do uso e ocupação da terra em APPs no Município de Muqui, ES. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 141-152, 2015. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/floram/v22n2/2179-8087-floram-22-2-141.pdf>>.

NASCIMENTO, T.V.; FERNANDES, L.L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v.39 n.1, jan./abr. 2017, p. 170 – 178. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/21737/pdf>

PREFEITURA DE GUANHÃES. Parecer técnico: Água Superficial Ribeirão Graipú.

SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Portaria SAAE Guanhães 31/2006** que dispõe sobre Programa "Graipu água e vida". Disponível em: <https://saaeguanhaes.com.br/uploads/pagina/4465/Hu2RvBMwYA2HKfkcyKWx3S2G GmYZfE5U.pdf>

SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Relação entre disponibilidade hídrica e produtividade do eucalipto em diferentes idades, em Guanhães, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 629–638. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662006000300014>

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, CARLOS A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore-Sociedade de Investigações Florestais**, v. 30, n. 5, p. 849-857. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/Lst9NTwxcPcs8dGtd638x4f/?format=pdf&lang=pt>

FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA

2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff deAlmeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)

IMAGENS

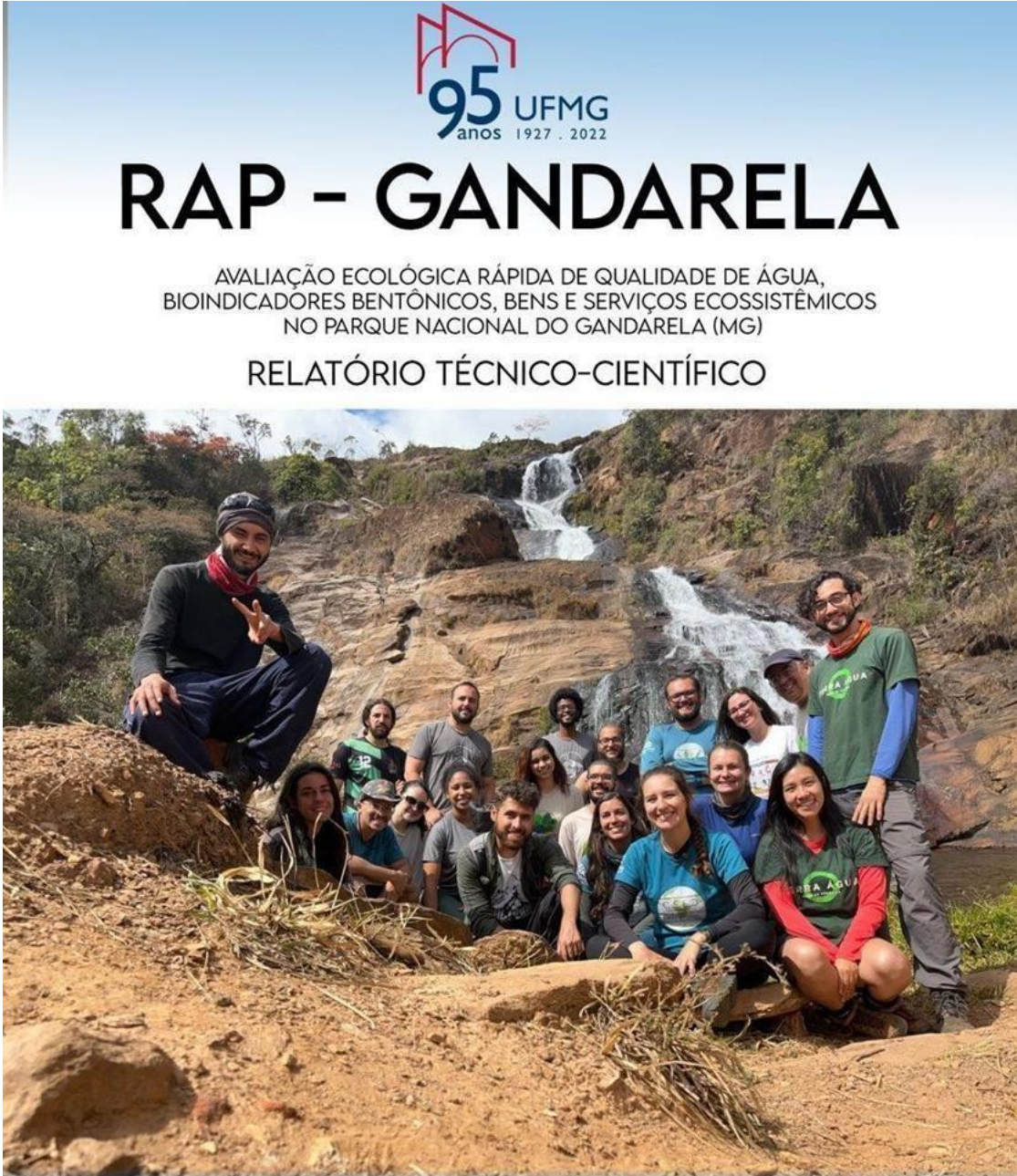
Catálogo - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí



Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

**ATENDIMENTO AO ITEM 8 DO EIXO 1 DA CAPES- DESENVOLVIMENTO
DE MATERIAL DIDÁTICO E INSTRUCIONAL- PRODUÇÃO DE UM
RELATÓRIO “RAP- GANDARELA, RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO”.**

Para consulta, acessar: DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.7299737>




95 UFMG
anos 1927 . 2022

RAP - GANDARELA


AVALIAÇÃO ECOLÓGICA RÁPIDA DE QUALIDADE DE ÁGUA,
BIOINDICADORES BENTÔNICOS, BENS E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS
NO PARQUE NACIONAL DO GANDARELA (MG)

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO

EDS.
MARCOS CALLISTO
RICARDO SOLAR



PPG-ECO
UFV
ECOLOGIA - UFV



ECMVS
ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E
MANEJO DA VIDA SILVESTRE - UFMG

Avaliação Ecológica Rápida de Qualidade de Água, Bioindicadores Bentônicos, Bens e Serviços Ecossistêmicos no Parque Nacional do Gandarela (MG)

Relatório Técnico-Científico

Disciplina de Pós-graduação RAP-GANDARELA (22-31/agosto/2022).

Editado por: Ricardo R C Solar & Marcos Callisto

© UFMG, 2022, todos os direitos reservados



Turma em aula de campo na Cachoeira do Viana. Foto: Ricardo Solar

Este relatório deve ser citado como: Callisto, M.; Solar, R.; Rocha, A.; *et al.* 2022. Avaliação Ecológica Rápida de Qualidade de Água, Bioindicadores Bentônicos, Bens e Serviços Ecossistêmicos no Parque Nacional do Gandarela (MG). Relatório Técnico-Científico. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. 98 pág. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.7299737>

Foto da capa: Marcos Callisto

Editado em L^AT_EX

Sumário

1	Apresentação.....	6
	Realização	7
	Apresentação geral do curso.....	8
	Apresentação dos Resultados em vídeos elaborados pela turma	10
2	Introdução.....	11
	PARNA Gandarela e a Mineração.....	13
	Índices de Qualidade de Água.....	14
	Bens e serviços e ecossistêmicos para populações humanas	15
3	Material e Métodos	16
	Área de Estudos.....	16
	Desenho Amostral.....	17
	Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida: formação e investigação científica no PARNA Gandarela	20
4	Resultados	33
	Cobertura vegetal, uso e ocupação da terra em escala local	33
	Protocolo de avaliação ecológica rápida da integridade de zonas ripárias e diversidade de habitats físicos	41
	Caracterização do habitat físico	44
	Gradiente de elevação	46
	Qualidade de Água.....	47
	Levantamento rápido da biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água	49
	Discussão	62
	Aplicação de um protocolo de avaliação ecológica rápida da integridade de zonas riparias e diversidade de habitats físicos	62
	Mensuração de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água.....	64
	Levantamento rápido da biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água	65
	Bens e serviços ecossistêmicos das águas no PARNA Gandarela e seus riachos.....	66
	Atividades humanas locais que impactam a provisão de serviços ecossistêmicos.....	67
	Recomendações.....	68
	Percepção Socioambiental No Parna Gandarela e Serviços Ecossistêmicos.....	69
5	Conclusões.....	72
6	Referências.....	74

7 Anexos

Anexo 1.....	84
Anexo 2.....	97

Resumo

Apresentamos neste Relatório Técnico-Científico a síntese de dados e informações levantadas durante a disciplina de pós-graduação RAP-GANDARELA, sobre qualidade de água, biodiversidade de bioindicadores bentônicos, bens e serviços ecossistêmicos no Parque Nacional da Serra do Gandarela, MG. A disciplina teve como objetivos: (a) capacitar profissionais na utilização de metodologias atuais em *Rapid Assessment Protocols* (RAP) para estudos de diagnóstico e monitoramento de integridade ecológica de ecossistemas aquáticos em regiões de cabeceira das bacias hidrográficas dos rios Ipanema-Doce e das Velhas-São Francisco, na região metropolitana de Belo Horizonte; (b) contribuir ao conhecimento da biodiversidade aquática em corpos d'água no PARNA Gandarela; (c) fomentar intercâmbio e colaboração entre mestrandos, doutorandos, guarda-parques, visitantes, membros de comitês de bacia, gestores ICMBio, moradores e interessados na conservação de biodiversidade no Quadrilátero Ferrífero; (d) gerar informações de base sobre qualidade de água, biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água, bens e serviços ecossistêmicos no PARNA Gandarela; (e) subsidiar com informações técnico-científicas os tomadores de decisão acerca de licenciamentos que potencialmente possam causar perturbações sobre os ecossistemas aquáticos e sua biodiversidade no PARNA Gandarela. Os principais resultados revelam que o PARNA Gandarela é guardião de riachos de cabeceira em condições de referência, com elevada diversidade de ambientes e ótima qualidade de água, onde vivem organismos bentônicos sensíveis, tolerantes e resistentes à poluição. É extremamente importante que estes riachos em condições de referência sejam conservados e utilizados em futuros estudos de Avaliação de Impactos Ambientais e Programas de Monitoramento de Longo Prazo de Condições Ecológicas. As condições de alta preservação devem servir como baliza de referência para tomadores de decisão em processos de licenciamento ambiental de empreendimentos potencialmente causadores de impactos ambientais e riscos à biodiversidade.

Palavras-chave: Avaliação Ecológica Rápida, bioindicadores, qualidade de água, formação de pessoal, conservação de biodiversidade, ferramentas ecológicas.

Abstract

In this Technical-Scientific Report, we present a synthesis of data and information on water quality, biodiversity of benthic bioindicators, ecosystem goods and services collected during the RAP-GANDARELA graduate course, in the Serra do Gandarela National Park, MG. This course aimed to: (a) train professionals in the use of current methodologies of Rapid Assessment Protocols (RAP) for assessment and monitoring of ecological integrity of the headwaters of Ipanema-Doce and das Velhas-São Francisco river basins in the metropolitan region of the state's capital; (b) contribute with baseline knowledge of aquatic biodiversity in freshwater ecosystems in the Gandarela National Park; (c) foster exchange and collaboration between masters and doctoral students, park rangers, visitors, members of basin committees, ICMBio managers, stakeholders and those interested in biodiversity conservation in the Quadrilátero Ferrífero; (d) generate basic information on water quality, biodiversity of benthic macroinvertebrates that are bioindicators of water quality, ecosystem goods and services in the Gandarela National Park; (e) provide technical-scientific information to decision makers about licensing that could potentially cause disturbances to freshwater ecosystems and their biodiversity in the Gandarela National Park. The main results evidenced that PARNA Gandarela conserves headwater streams in reference conditions, with high diversity of physical habitats, excellent water quality, where benthic macroinvertebrates sensitive, tolerant and resistant to pollution live. These streams in reference conditions must be conserved and might be used in future studies of Environmental Impact Assessment and long-term Monitoring Programs of Ecological Conditions. Such high-grade conditions should serve as a gold standard reference for decision makers in environmental licensing processes and for projects potentially causing environmental impacts and risks to biodiversity.

Key-words: Rapid Ecological Assessment, bioindicators, water quality, staff training, biodiversity conservation, ecological tools.

Capítulo 1

APRESENTAÇÃO



Vista panorâmica do Parque Nacional da Serra do Gandarela. Foto: Ricardo Solar

Realização

Instituição

Programas de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da UFMG e em Ecologia da Universidade Federal de Viçosa. Parceria com a gerência do Parque Nacional do Gandarela (Dr. Tarcisio Nunes) e com o Instituto Prístino (Dr. Flavio Campos e Dra. Luciana Kamino).

Professores Responsáveis

Prof. Marcos Callisto

Prof. Ricardo Solar

Tutores convidados

Gisele Moreira – doutoranda, PPG-EcoEvol/UFV

Pedro Amaral – pesquisador pós-doc, PPG-EA/UFLA

Parceiros externos à UFMG

Flavio Campos – Instituto Pristino

Luciana Carmino – Instituto Pristino

Marden Linares – UFMT

Tarcisio Tadeu Nunes Junior - ICMBio

Estudantes de Pós-Graduação

- Anderson Santos da Rocha – mestrando, PPG-Micro/UFMG
- André A. Paz – doutorando, PPG-ECMVS/UFMG
- Bárbara Martins Dolabela – doutoranda, PPG-ECMVS/UFMG
- Breno H. Felisberto – mestrando,
- Elisangela Cristina da Silva Costa – mestranda, PPG-MPSTA/IFMG
- Estêvão Emerick de Oliveira Eller – mestrando, PPG-ECMVS/UFMG
- Heitor Felipe Lopes de Castro – mestrando, PPG-ECMVS/UFMG
- Isadora Gerheim – doutoranda, PPG-Eco/UFV
- Juliana Carmem Lombello – mestre Ecologia/UFMG
- Karoline Hellen Madureira de Melo – mestranda, PPG-ECMVS/UFMG
- Luísa Couto Gonçalves de Souza – mestranda, PPG-ECMVS/UFMG
- Norma Senna – doutoranda, PPG-Eco/UFV
- Rafael Melo Caffaro – mestrando, PPG-ECMVS/UFMG
- Rafael Marques – mestrando, PPG-Eco/UFV
- Sara A. P. Otuki – doutoranda, PPG-Eco/UFV
- Vinícius Silva Ferraz - mestrando, PPG-ECMVS/UFMG



Turma em aula no mirante do Gandarela. Foto: Ricardo Solar

Apresentação geral do curso

A formação de pessoal, geração de conhecimentos e o desenvolvimento de novas ecotecnologias para enfrentar os desafios atuais da sociedade são missão das Universidades, seus professores e Programas de Pós-graduação. Investir na capacitação de pós-graduandos através do treinamento em ferramentas práticas, em que aplicamos conceitos ecológicos é uma metodologia amplamente utilizada na formação de profissionais em Ecologia. Além de discutir teorias ecológicas, formular hipóteses e predições, responder perguntas científicas norteadoras dos estudos propostos, devemos também promover a organização de disciplinas com caráter preponderantemente prático e direcionadas ao preenchimento de lacunas de conhecimento de áreas protegidas e Unidades de Conservação no país.

Fruto da parceria entre professores que atuam nos Programas de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da UFMG e em Ecologia da Universidade Federal de Viçosa, com a gerência do Parque Nacional do Gandarela (Dr. Tarcisio Nunes) e com o Instituto Prístino (Dr. Flavio Campos e Dra. Luciana Kamino), realizamos a disciplina *Rapid Assessment Protocol -GANDARELA (RAP-GANDARELA)*, no período de 22 a 31 de agosto de 2022. As atividades nessa disciplina incluíram embasamento teórico, treinamento prático em ferramentas de avaliação e monitoramento de condições ecológicas em riachos de cabeceira, conhecimentos básicos em taxonomia e funcionamento de comunidades bentônicas e processos ecológicos, conservação de biodiversidade, adaptações ecológicas de bioindicadores bentônicos, revisão de literatura e livros texto base para atividades de

CAPÍTULO 1. APRESENTAÇÃO

ensino-pesquisa-extensão.

As principais motivações da disciplina RAP-GANDARELA foram: (a) capacitar pós-graduandos em Ecologia a realizar avaliações ecológicas sobre integridade ambiental de riachos de cabeceira em condições de referência; (b) contribuir ao conhecimento da biodiversidade e integridade ecológica nas nascentes das bacias dos rios Ipanema-Doce e das Velhas-São Francisco no PARNA Gandarela; (c) fomentar o intercâmbio e colaboração entre mestrandos, doutorandos, guarda-parques, visitantes, membros de comitês de bacia, gestores ICMBio, moradores e interessados na conservação da biodiversidade no Quadrilátero Ferrífero; (d) gerar informações inéditas sobre qualidade de água, biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água, bens e serviços ecossistêmicos no PARNA Gandarela; (e) subsidiar com informações técnico-científicas os tomadores de decisão acerca de licenciamentos que potencialmente possam causar perturbações sobre os ecossistemas aquáticos e sua biodiversidade no PARNA Gandarela.

Neste Relatório Técnico-Científico, apresentamos os dados obtidos em campo no PARNA Gandarela incluindo:

1. condições ambientais de corpos d'água em um gradiente de distúrbio;
2. avaliação ecológica rápida de qualidade de água;
3. utilização de Índice de Qualidade de Água (IQA) para monitoramento de qualidade das águas em riachos;
4. aplicação de índices bióticos com bioindicadores bentônicos de qualidade de água;
5. bens e serviços ecossistêmicos de riachos, cachoeiras e lago de altitude.

A organização da disciplina incluiu 3 módulos:

- Módulo 1: teórico-conceitual em sala de aula e no campo;
- Módulo 2: atividades práticas em campo e laboratório;
- Módulo 3: análise de dados (cálculos/modelagem ecológica).

O público-alvo incluiu estudantes de pós-graduação interessados em Protocolos de Avaliação Ecológica Rápida de Biodiversidade Aquática, Qualidade de Água, Bens e Serviços Ecossistêmicos.

Apresentação dos Resultados em vídeos elaborados pela turma

- Condições ambientais de corpos d'água - *Rapid Assessment Protocol* - Serra do Gandarela - ECMVS/UFMG (<https://youtu.be/991Ce23WPRc>)
- Protocolo de Avaliação Rápida - *Rapid Assessment Protocol* - Serra do Gandarela - ECMVS/UFMG (<https://youtu.be/FsNbUrgjC9I>)
- Índices de Qualidade Ambiental - *Rapid Assessment Protocol* - Serra do Gandarela - ECMVS/UFMG (<https://youtu.be/eXeHsVAVdY8>)
- Serviços Ecossistêmicos - *Rapid Assessment Protocol* - Serra do Gandarela - ECMVS/UFMG (<https://youtu.be/qEWzjlm7J8M>)
- Índices Bióticos - *Rapid Assessment Protocol* - Serra do Gandarela - ECMVS/UFMG (<https://youtu.be/5d06Fxb7BxY>)
- Playlist completa com os 5 vídeos (https://youtube.com/playlist?list=PL9984B_ORbcRQi5Xh2NhSbU0yx1zGW7wx)

Capítulo 2

Introdução

Recursos hídricos são de fundamental importância para o desenvolvimento e sustentabilidade da sociedade humana, garantindo bens e serviços ecossistêmicos a populações humanas, em um mundo em mudanças climáticas (GRIZZETTI et al., 2016; FALKENMARK et al., 2019; GLEESON et al., 2020). Como resultado de processos geomorfológicos e adaptações evolutivas de espécies aquáticas e semi-aquáticas, os ecossistemas aquáticos fornecem serviços ecossistêmicos únicos, incluindo suprimento de água e alimento, regulação climática, ciclagem de nutrientes, manutenção de biodiversidade, turismo e recreação (BRAUMAN et al., 2007; PRADO et al., 2022). As atividades humanas podem levar à sobre-exploração de corpos d'água e modificar as características de ambientes aquáticos, como alterações de margens, assoreamento de corpos d'água, aumento da temperatura e entrada de poluentes orgânicos e inorgânicos na água (MALMQVIST & RUNDLE, 2002; GLEESON et al., 2020). Devido à importância dos ecossistemas aquáticos e crescentes demandas por recursos hídricos pela sociedade humana, o Brasil possui legislação que visa a proteção e manutenção de suas riquezas hídricas em níveis federal (Resolução CONAMA 357/2005; o Novo Código Florestal, Lei 12.651/2012) e estadual (Deliberação Normativa COPAM 001/2008).

A legislação dedicada à proteção de zonas ripárias e mananciais é desconectada da legislação que visa a proteção de parques em sua composição faunística e florística, ainda que encontremos normativas que visem a proteção exclusiva de matas ripárias (Novo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012). As áreas protegidas podem, além do objetivo de proteger belezas cênicas e riquezas naturais, contribuir para a proteção e múltiplos usos de recursos hídricos de forma sustentável. Avaliar condições ecológicas de ecossistemas protegidos, utilizando metodologias padronizadas para caracterização de condições de referência é, portanto, prioridade para proteger qualidade de água, sua biodiversidade, bens e serviços ecossistêmicos.

CAPÍTULO 2. INTRODUÇÃO

De maneira geral, para proteger os ecossistemas aquáticos viabilizando o acesso a uma boa qualidade de água, é necessário conservar os ecossistemas em áreas protegidas (DUDGEON et al., 2006). A criação de áreas protegidas, como Parques Nacionais (PARNA) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), é garantida pelos artigos 1º, 2º e 3º do Decreto nº 84.017, de 21 de setembro de 1979 (BRASIL, 1979). Os PARNAs são criados com o objetivo de preservar áreas extensas de ecossistemas naturais, que possuam alguma singularidade, e serão destinadas a fins científicos, culturais, educativos e recreativos, com desapropriação das terras e administrados pelo Governo Federal, de uso comum à população, enquanto que as RPPNs são criadas por vontade do proprietário das áreas, sem desapropriação, possuindo objetivos similares aos PARNAs (BRASIL, 1979).

As unidades de conservação, em todos os seus aspectos sociais e econômicos, demandam auxílios diversos em suas tomadas de decisão e elaboração de documentos técnicos e norteadores previstos na lei de nº 9.985/2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (BRASIL, 2000). Para a elaboração de documentos técnicos e de administração, como Planos de Manejo, é necessário o uso de métodos analíticos e descritivos, que permitam avaliar a situação do local, mapear suas áreas de importância ecológica, tais como espécies endêmicas ou ameaçadas, nascentes e curso d'água, visando os melhores ganhos ambientais possíveis (CALLISTO et al., 2021; FERNANDES et al., 2022). A definição e implementação de programas de monitoramento devem também considerar a variabilidade natural em ecossistemas em condições de referência. Estas abordagens podem subsidiar a proposição de soluções efetivas para mitigar distúrbios antropogênicos em bacias hidrográficas. A caracterização de condições de referência em Unidades de Conservação permite identificar áreas de especial atenção, conhecer a variabilidade natural de qualidade de água, habitats físicos e biodiversidade aquática, em situações sob mínimo distúrbio por pressões de atividades humanas (FRANÇA et al., 2019; AGRA et al., 2018; MARTINS et al., 2018; FEIO et al., 2021).

A utilização de Protocolos de Avaliação Ecológica Rápida (em inglês, *Rapid Assessment Protocols*, doravante tratados como *RAP*), são uma ferramenta eficiente na caracterização de ecossistemas. São um método eficiente, fácil, rápido e pouco oneroso para avaliar ecossistemas, inventariar biodiversidade e nortear futuras abordagens técnico-científicas. Estes protocolos incluem parâmetros de avaliação de características mais importantes de um ecossistema aquático e sua interface com os ecossistemas terrestres circundantes. Amplamente utilizados em monitoramentos ambientais na Europa (p.ex. Protocolo de HANNAFORD et al., 1997) e Estados Unidos (p.ex. PECK et al., 2006). Um RAP deve ser operacionalmente simples, permitindo que seja aplicado

tanto por analistas ambientais como por estudantes ou voluntários não qualificados, desde que devidamente treinados para que identifiquem as características ambientais e apliquem o protocolo corretamente (BIZZO et al., 2014). Devem fornecer informações importantes sobre as características de corpos d'água, com um teste robusto e validado cientificamente. No Brasil existem diferentes protocolos do tipo RAP, e para o ambiente aquático, temos o método proposto por Callisto et al. (2002), o qual é amplamente utilizado (FERNANDES et al., 2022; CALLISTO et al., 2021).

PARNA Gandarela e a Mineração

A Serra do Gandarela está situada na região central do estado de Minas Gerais, distante aproximadamente 40 km da capital, Belo Horizonte. Ela abriga os ecossistemas de cerrado, campo rupestre sobre quartzito e canga e mata atlântica, com um papel importantíssimo do ponto de vista hidrológico regional. Essa importância é devida ao grande número de nascentes que formam os riachos e tributários das bacias do Rio Doce e do Rio das Velhas, que por sua vez, são fundamentais para o abastecimento e saneamento da região metropolitana da capital mineira. Nesse contexto, a conservação da Serra do Gandarela, além de importante para a manutenção de ecossistemas e biodiversidade na região, é imprescindível para a segurança hídrica de mais de 5 milhões de habitantes na região metropolitana de Belo Horizonte. Por outro lado, a Serra do Gandarela é formada em grande parte por cangas ferruginosas, que, sendo ricas em minérios, atraem a atenção de grandes empresas mineradoras para a prospecção em seu subsolo (DNPM, 2011).

Em resposta ao intenso interesse exploratório para a abertura de novos sítios de mineração na Serra do Gandarela, levando em conta os serviços ecossistêmicos prestados pela área, em 2014 foi criado o Parque Nacional da Serra do Gandarela. Esta Unidade de Conservação visa, de acordo com o seu decreto de criação: “garantir a preservação do patrimônio biológico, geológico, espeleológico e hidrológico associado às formações de canga do Quadrilátero Ferrífero, incluindo os campos rupestres e os remanescentes de floresta sem decidual, áreas de recargas de aquíferos e o conjunto cênico constituído por serras, platôs, vegetação natural, rios e cachoeiras” (Decreto nº 14013 de 13/10/2014 Art. 1º).

Caso conduzidas de maneira predatória e desordenada, sem o devido estudo e conhecimento científico do ambiente, as atividades de mineração na Serra do Gandarela podem resultar em: i) rebaixamento de lençol freático e, conseqüentemente, perda de nascentes e diminuição de umidade no solo da região; ii) piora da qualidade de água e alteração de parâmetros físicos e químicos, causados pela poluição por rejeitos de

atividade mineradora, como assoreamento, óleos, metais pesados; iii) impactos secundários, como assoreamento devido à erosão causada pela retirada da vegetação marginal em alguns trechos de rios, que podem causar aumento de turbidez, reduzindo a penetração de luz, comprometendo a produção primária, alterando ciclos biogeoquímicos (CPRM - Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil, 2002). Além da atividade minerária, outro problema de poluição das águas ocorre devido à ocupação humana descoordenada, que muitas vezes vem acompanhada com um aporte de esgotos domésticos sem tratamento, despejados diretamente nos cursos d'água.

Nesse sentido, para que seja feito um diagnóstico relevante de qualidade de água, integridade ecológica e saúde ambiental, são utilizadas métricas físicas, biológicas e índices ecológicos, visando auxiliar na identificação de estressores devido a pressões de atividades humanas na paisagem. Essas ferramentas de avaliação de qualidade ambiental incluem diferentes escalas espaciais de investigação, desde o local de amostragem até a microbacia, e consideram parâmetros físicos, químicos, grupos de organismos e aspectos geográficos.

Índices de Qualidade de Água

Os índices de avaliação de qualidade ambiental surgiram como resposta à crescente preocupação social sobre conhecimento diante dos impactos sobre os ecossistemas naturais, gerados pelo desenvolvimento da civilização (HUGHES et al., 2022). Devido à complexidade de avaliar o amplo espectro de características ambientais e pela dificuldade em traduzir essas informações para que possam ser prontamente compreendidas por todos os públicos, a formulação de índices é um desafio permanente para o desenvolvimento de políticas de conservação de recursos naturais. Nesse sentido, com o intuito de criar um método de avaliação integrador que dispusesse de vários parâmetros num único resultado numérico, a *National Sanitation Foundation* desenvolveu o Índice de Qualidade da Água (IQA) em 1970 nos Estados Unidos. Em 1975 este índice foi adaptado para o Brasil pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2022) e, atualmente, é um método amplamente utilizado pelas instituições nacionais de controle ambiental (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2022). Dessa forma, a aplicação de índices de qualidade de água tem por finalidade avaliar mudanças ambientais em corpos d'água, apontando possíveis problemas relacionados à contaminação de recursos hídricos de superfície, classificando-as de acordo com usos predestinados e, além disso, auxiliar no cumprimento da legislação ambiental (HUGHES et al., 2022).

De maneira simples, o IQA é um índice para avaliar a qualidade das águas destinadas

ao abastecimento humano, tendo em sua fórmula algumas variáveis que indicam a possível contaminação ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos, resíduos industriais ou agropecuários (de SOUZA et al., 2005; SÁNCHEZ et al., 2007; LOPES et al., 2008) e considerando aspectos acerca de sua tratabilidade (CETESB, 2022). Nesse sentido, os parâmetros utilizados em seu cálculo são aqueles considerados de maior relevância, por participarem em diversos processos físicos, químicos e biológicos e, conseqüentemente, associados ao funcionamento de ecossistemas (National Sanitation Foundation, 2016). É importante destacar que esses parâmetros são limitantes à ocorrência de organismos bioindicadores, o que possibilita uma avaliação prévia das características ecológicas dos ecossistemas aquáticos (HUGHES et al., 2022). O IQA pode ser utilizado para avaliar a qualidade da água em ambientes naturais, mesmo que pouco alterados, possibilitando avaliar características do ambiente em um momento anterior à contaminação, levantando a obtenção de dados de base, que podem ser úteis aos métodos de conservação e promovendo a sensibilização das populações humanas que utilizam as águas, beneficiando-se de bens e serviços ecossistêmicos.

Bens e serviços e ecossistêmicos para populações humanas

Serviços ecossistêmicos (SE) são as funções dos ecossistemas que têm valor para populações humanas (VAN DYKE & LAMB, 2020), oferecendo bens de consumo e outros benefícios, garantindo bem-estar, saúde física e mental, qualidade de vida (MEA, 2003). Esses diferentes valores são atribuídos à natureza e podem ser desfrutados de diversas maneiras por populações humanas, e variar conforme a biodiversidade e a cultura local, ao longo de bacias hidrográficas de importantes rios e seus tributários. Os SE são classificados em quatro categorias (MEA, 2003), inter-relacionados quanto aos benefícios que oferecem: 1) serviços de provisão, 2) serviços reguladores, 3) serviços de suporte e 4) serviços culturais (Tabela 1). Entre os serviços de provisão, a disponibilidade de água, conservação de biodiversidade, alimento e bem-estar a populações humanas e espécies silvestres, têm relevância local, regional e global, incluindo benefícios à regulação do clima e garantia de disponibilidade hídrica (VAN VUUREN et al., 2022).

Capítulo 3

Material e Métodos

Área de Estudos

O Parque Nacional da Serra do Gandarela está localizado no Quadrilátero Ferrífero, porção sul da Cadeia do Espinhaço, próximo à cidade de Belo Horizonte (Figura 1), possui área de 42 mil hectares, distribuídos em oito municípios no Estado de Minas Gerais (Caeté, Itabirito, Nova Lima, Ouro Preto, Mariana, Rio Acima, Raposos e Santa Bárbara). A Serra do Gandarela está localizada na porção sul da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e abriga mais de mil nascentes e cursos d'água, reconhecidos como classes Especial e 1, conforme resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (Rosa, 2019; Drumond et al., 2005). Esses aquíferos contribuem para o abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte e oferecem opções de lazer e turismo ecológico para a população. Além do grande potencial hídrico, a Serra do Gandarela abriga representantes de dois importantes *hotspots* de diversidade, os biomas Cerrado e Mata Atlântica (MYERS et al. 2000, RIZZINI, 1979).

Deve-se também considerar a variabilidade de geoambientes presentes no Parque Nacional do Gandarela, como áreas de campo rupestre quartizítico e ferruginoso com uma grande área de canga, que compõem um ecossistema raro, correspondente a apenas 1% do território nacional e considerado como uma das 100 áreas geológicas mais importantes do planeta (ALVES, 2022; HILARIO et al., 2022), onde são encontrados grandes depósitos de minério de ferro. Sendo estes encontrados em uma matriz de mata atlântica e cerrado (em suas diversas fitofisionomias), sem contar os diversos riachos e olhos d'água que tem suas cabeceiras na área protegida (SANTOS et al., 2021). Cada um desses possui suas características físicas e sua respectiva biodiversidade associada e tem importância única no que tange aos benefícios para os organismos que vivem dentro do Parque, nas suas adjacências ou mesmo ao longo das bacias hidrográficas que podem transportar esses benefícios por quilômetros abaixo seguindo o fluxo dos rios. Vale

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS

ressaltar a importância dos itabiritos, que devido a sua porosidade possuem a capacidade de armazenar e lentamente liberar água, representando um aquífero essencial para o abastecimento de água da região metropolitana de Belo Horizonte (SILVEIRA et al., 2020). Os campos rupestres, constituídos por mosaicos de vegetação predominantemente campestre e vegetações associadas a afloramentos rochosos, desenvolvidos em região marcada por solos pobres em nutrientes, idade geológica antiga e relativa estabilidade climática, apresentam uma composição florística marcada por cerca de 40% de endemismo, a maior taxa de endemismo do Brasil (SILVEIRA et al., 2016).

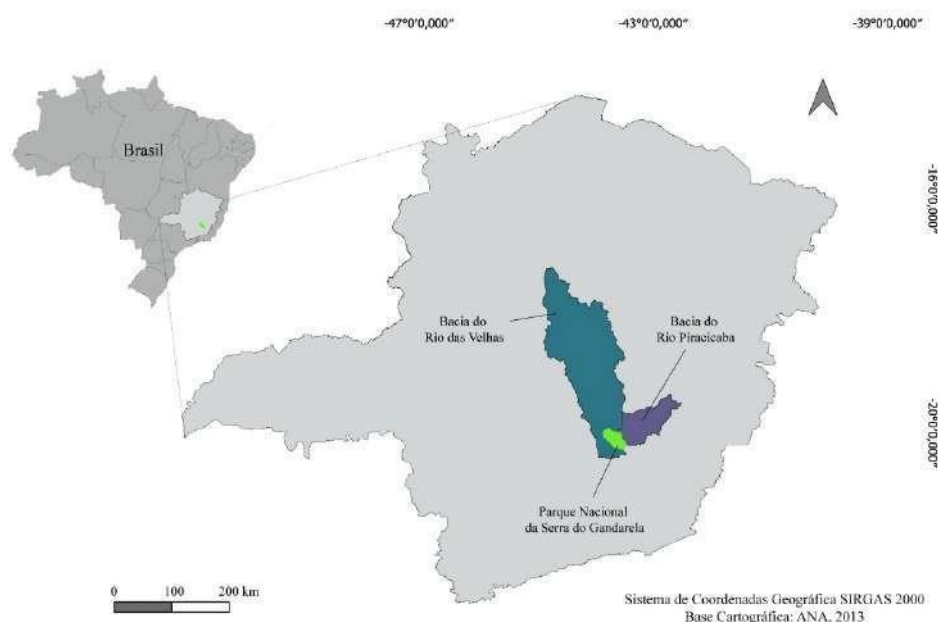


Figura 1. Localização da área de estudo no Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG).

Desenho Amostral

As atividades foram desenvolvidas em 10 ecossistemas aquáticos (Figura 2) com alto potencial turístico (Figura 3), no Parque Nacional da Serra do Gandarela e regiões de entorno: (Cachoeira Chica Dona (P1); Cachoeira do Mingu (P2); Córrego do Viana (P3); Córrego da Mina (P4); Córrego Cortesia (P5); Cachoeira do Viana (P6); Córrego Ferro Puro (barramento) (P7); Cachoeira Samsa (P8) e Rio das Velhas (P9), Lagoa do Metro (P10) (Tabela 1).

Tabela 1: Identificação, coordenadas geográficas e elevação dos 10 sítios amostrais no Parque Nacional da Serra do Gandarela, MG.

Código	Sítio amostral	Coordenadas	Elevação (m.a.s.l.)	Localização em relação ao PARNA Gandarela
P1	Cachoeira Chica Dona	20°08'18"S, 43°41'22"W	1124	Zona de amortecimento
P2	Cachoeira do Mingu	20°03'42"S, 43°45'31"W	1028	Dentro
P3	Córrego do Viana	20°05'49"S, 43°43'04"W	1206	Dentro
P4	Córrego da Mina	20°02'11"S, 43°40'11"W	1361	Dentro
P5	Córrego Cortesia	20°6'27"S, 43°42'17"W	1290	Próximo
P6	Cachoeira do Viana	20°05'52"S, 43°45'01"W	1099	Dentro
P7	Córrego Ferro Puro	20°07'31"S, 43°39'03"W	1394	Dentro
P8	Cachoeira Samsa	20°05'18"S, 43°47'13"W	743	Zona de amortecimento
P9	Rio das Velhas	20°05'07"S, 43°47'32"W	731	No entorno
P10	Lagoa do Metro	20°02'59"S, 43°40'33"W	1421	Dentro

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS

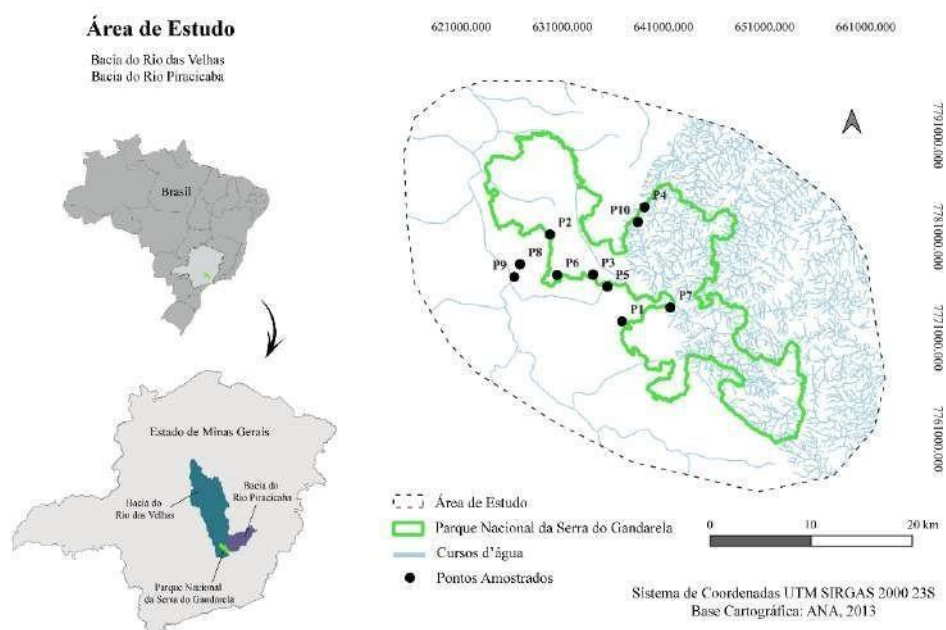


Figura 2. Definição dos sítios amostrais no Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), agosto de 2022.



Figura 3. Potencial turístico da Serra do Gandarela. (A) Cachoeira Chica Dona; (B) Vista cênica proporcionada pelas atividades de trilha e caminhada; (C) *Cattleya crispata*, uma das espécies que podem ser encontradas na região.

Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida: formação e investigação científica no PARNA Gandarela

Durante o período de 22 a 31 de agosto de 2022, a disciplina RAP-GANDARELA contou com a participação de 16 estudantes de mestrado e doutorado de 4 Programas de pós-graduação da UFMG e UFV, 2 professores, 2 tutores acadêmicos e 4 colaboradores externos para realizar o treinamento prático e capacitação de profissionais na utilização de Protocolos de Avaliação Ecológica Rápida. Os protocolos nesta abordagem RAP-GANDARELA compreenderam (i) levantamento de cobertura vegetal, uso e ocupação da terra em escala local; (ii) aplicação de um protocolo de avaliação ecológica rápida da integridade de zonas ripárias e diversidade de habitats físicos; (iii) mensuração de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água; (iv) levantamento rápido da biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água. Diariamente as amostragens foram realizadas em campo em sítios amostrais definidos e, à tarde, as amostras foram processadas em um laboratório montado na pousada em que ficamos hospedados. Ao retornar a Belo Horizonte, os dados foram tabulados, índices foram calculados e a redação deste relatório técnico-científico foi elaborada conjuntamente, revisada e co-autorada por todos os envolvidos na disciplina RAP-Gandarela.

Cobertura vegetal, uso e ocupação da terra em escala local

Para avaliar a cobertura vegetal, uso e ocupação da terra em escala local foi utilizado um conjunto de métricas que acessam diferentes estruturas da paisagem, a fim de classificar as diferentes formações naturais e distúrbios antrópicos nas microbacias dos sítios amostrais. As métricas utilizadas estão listadas na Tabela 2 e foram executadas utilizando o Software Qgis (Versão 3.22.10). Além das imagens de satélite disponíveis, utilizamos também imagens obtidas por RAPs (aeronaves remotamente pilotadas) para obter uma descrição detalhada e em tempo real dos locais amostrados. As imagens foram obtidas com uma aeronave Mavic 2 Pro, permitindo uma resolução de 1cm/pixel.

Utilizando os dados hidrológicos disponibilizados pela ANA (Agência Nacional de Águas), nós mapeamos os cursos d'água presentes na área de estudo e definimos zonas tampão (*buffers*) para cada um dos 10 sítios amostrais. Os *buffers* foram delimitados à mão livre, utilizando o software QGIS, partindo do sítio amostral até abranger todos os cursos d'água a montante, visando incluir os distúrbios humanos (Figura 4). Alguns sítios amostrais localizam-se em uma mesma microbacia e, nesses casos, o *buffer* do sítio amostral a jusante considera também o *buffer* do sítio a montante.

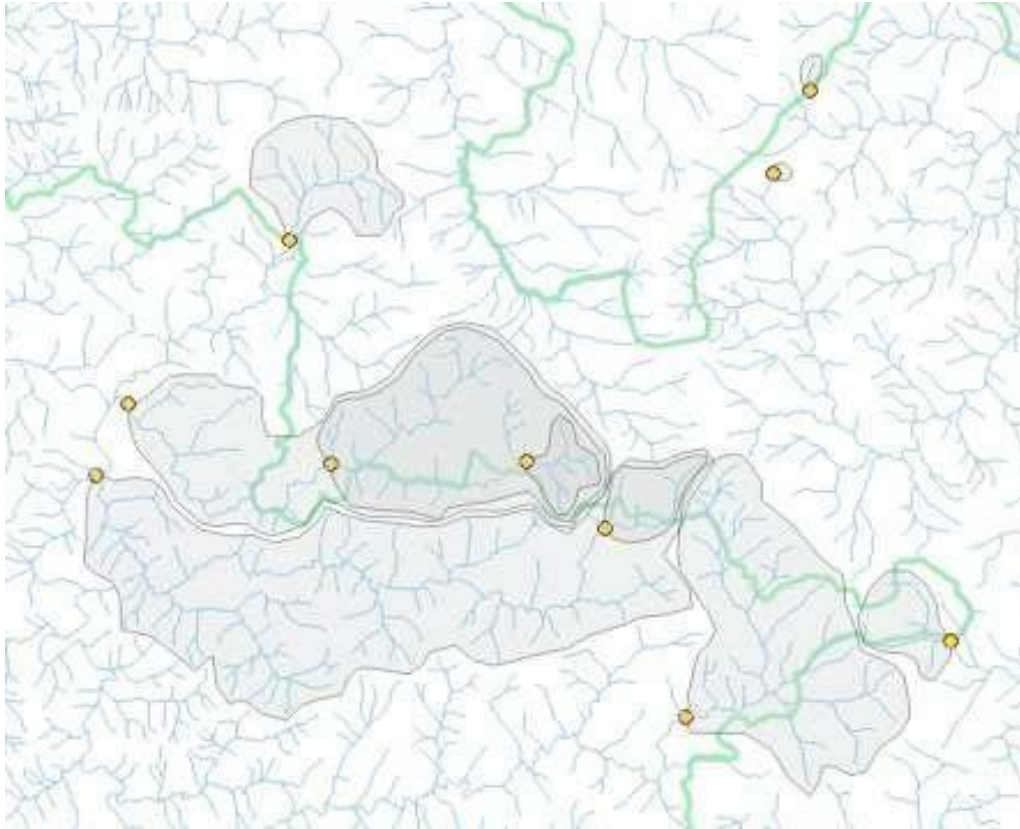


Figura 4. *Buffers* dos sítios amostrais na disciplina RAP Gandarela. As linhas verdes delimitam o Parque Nacional da Serra do Gandarela, as linhas azuis representam os cursos d'água, os pontos amarelos são os sítios amostrais e os polígonos cinza são os *buffers* utilizados.

Para classificação da ocupação e uso da terra, extraímos dados do Map Biomas (www.mapbiomas.org), onde consta a classificação de cobertura vegetal, desmatamento e uso de solo para todo o território nacional. Utilizando os *buffers*, extraímos dados de elevação e declividade, de acordo com modelo de elevação ambiental (MDE), a partir do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução de 30 metros, e obtivemos valores de média, desvio padrão, e alcance para cada uma das variáveis, conforme proposto por Macedo et al. (2016). Utilizamos dados do mapeamento geológico do Brasil (acessados através da plataforma do IBGE) para caracterização litológica de cada um dos sítios amostrais.

Para analisarmos o grau de urbanização e o nível de desenvolvimento dos municípios que margeiam o PARNA Gandarela, utilizamos as métricas de densidade habitacional e densidade populacional de cada um dos sítios amostrais através da plataforma do IBGE (ibge.gov.br). De forma similar, calculamos a distância até a estrada mais próxima, com

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS

dados de malhas rodoviárias estadual e federal (www.cnt.org.br) e a distância até a cidade mais próxima (Tabela 2).

Tabela 2. Fontes de dados geográficos.

<i>Métricas</i>	<i>Métodos</i>
Cobertura e uso da terra	MapBiomas Coleção 7 (2021) https://mapbiomas.org/
Elevação (m)	SRTM Digital Elevation – resolução 30m
Declividade (%)	SRTM Digital Elevation – resolução 30m
Litologia	Mapa Geológico Brasileiro (1250.000) - IBGE
Densidade Populacional (habitantes/km ²)	Censo Demográfico IBGE (2021) www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/rio-acima.html
Densidade Habitacional (domicílios/km ²)	Censo Demográfico IBGE (2010) www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/rio-acima.html

Aplicação de um protocolo de avaliação ecológica rápida da integridade de zonas ripárias e diversidade de habitats físicos

Foi utilizado o Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats (RAP) proposto por Callisto et al. (2002) nos sítios amostrais P1 a P9 (Figura 5). O protocolo foi aplicado em um trecho de cada sítio amostrado, com exceção do P10 (Lagoa do Metro) uma vez que o protocolo não se aplica a ecossistemas lênticos (lagos, lagoas e reservatórios). O protocolo é composto por 2 quadros com um total de 22 parâmetros e cada parâmetro tem categorias descritas e pontuadas de 0 a 4 no primeiro quadro e 0 a 5 no segundo quadro. A pontuação é atrelada às diferentes categorias e essas categorias são selecionadas de acordo com a observação de cada ponto e quanto menos alterada a categoria marcada, maior a pontuação. O valor final foi obtido pelo somatório de cada parâmetro e os rios foram classificados em condição de referência (ou “bem preservados”) quando obtiveram pontuação final superior a 60 pontos, alterados quando entre 41 e 60 pontos e impactados por atividades humanas quando o somatório foi inferior a 40 pontos. As pontuações refletem a condição ecológica do trecho estudado. O protocolo fornece informações quanto à integridade física e influência de distúrbios antrópicos, podendo ser utilizado como uma ferramenta de monitoramento ambiental.



Figura 5. Equipes em campo realizando a aplicação dos protocolos de habitat físico.

(iii) Caracterização do habitat físico

A caracterização física do habitat é uma importante ferramenta no levantamento das métricas atuais dos ecossistemas aquáticos, podendo servir tanto para uma caracterização inicial indicando possíveis alterações do estado natural ou no monitoramento de mudanças ambientais. Neste estudo, a caracterização física foi feita por meio de uma simplificação do protocolo de avaliação de habitats físicos utilizado pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (US-EPA) (AGRA et al., 2018; PECK et al., 2006). Foram amostrados 3 transectos com 5 metros de distância entre eles marcados de A a C, de jusante à montante (Figura 6). O protocolo foi realizado nos sítios: Córrego do Viana, Córrego da Mina, Cachoeira do Viana, Córrego Cortesia e Cachoeira Chica Dona. Em cada transecto foram avaliados: i) morfologia do canal; ii) característica do substrato; e iii) característica do dossel.

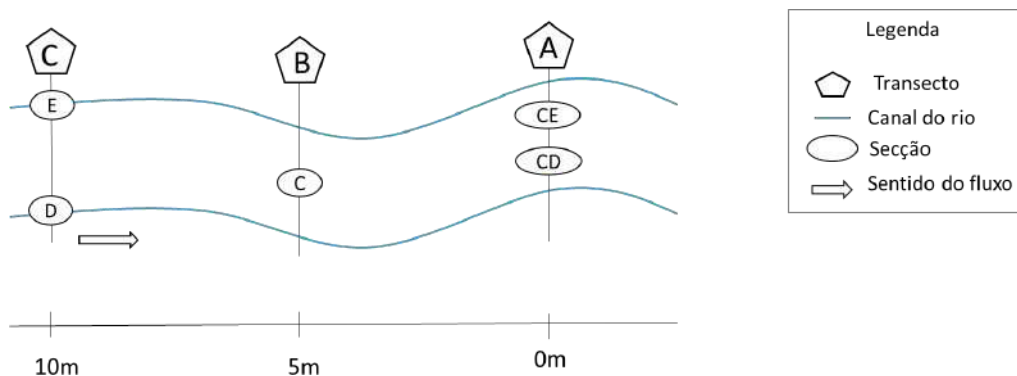


Figura 6. Desenho esquemático dos transectos de amostragens em cada sítio amostral. Secções: E = esquerda, D=direita, C= centro, CE=centro esquerda, CD=centro direita.

Para avaliação da morfologia do canal foram estimadas a profundidade, largura molhada, largura do leito sazonal e altura do leito sazonal. A profundidade foi medida com uma haste milimetrada em 5 secções de cada transecto (margem esquerda, centro esquerda, centro, centro direita e margem direita). O valor da profundidade foi considerado como a média das medidas. A largura molhada foi medida com uma trena fixada em uma margem e estendida até a margem paralela, sendo realizada uma medida em cada transecto e calculada a média para o sítio amostral. Para essa medida, foi localizada a marca visual de alcance máximo do leito do rio em período de cheia em cada margem. A altura do leito sazonal foi avaliada com uma haste milimetrada considerando a distância entre a superfície da água na margem até o ponto de alcance máximo da água em períodos de cheia. O valor final de altura do leito sazonal foi obtido como a média do trecho amostrado no sítio amostral.

A caracterização do substrato no fundo do rio foi realizada através de observação visual em 5 secções de cada transecto, nomeadamente, margem esquerda, centro esquerda, centro, centro direita e margem direita. A composição do substrato do sítio amostral foi avaliada como a porcentagem de cada substrato ao longo do trecho avaliado.

A caracterização do dossel foi realizada através das medidas de cobertura de dossel e composição da zona ripária. A cobertura de dossel foi estimada com o auxílio de um densímetro em 6 secções de cada transecto (margem esquerda, centro esquerda, centro à montante, centro à jusante, centro direita e margem direita). O valor final de cobertura de dossel foi obtido como a média das medidas e transformado em porcentagem. A composição da zona ripária foi estimada através da observação visual das margens esquerda e direita em cada transecto e avaliada como a porcentagem de cada tipo vegetal ao longo do trecho amostrado.

Gradiente de elevação

A elevação de cada sítio amostral foi obtida através do aplicativo *Google Earth*, pesquisando por suas respectivas coordenadas geográficas. O gradiente de elevação foi estabelecido utilizando a ordem de pontuação no RAP.

Mensuração de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água

A mensuração *in situ* dos parâmetros físicos e químicos de qualidade de água, incluíram: temperatura, oxigênio dissolvido (YSI modelo ProSolo); pH e potencial oxi-redox

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS

(Digimed DM-2P); turbidez (Digimed DM-TU); condutividade elétrica, resistividade e sólidos totais dissolvidos (Digimed DM-3P). Além destas aferições para a análise de nutrientes e da cor verdadeira foram coletadas amostras em frascos âmbar e armazenados sob resfriamento a -20°C para análise posterior. A análise de fósforo e nitrogênio foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos do Departamento de Geografia no Instituto de Geociências da UFMG e a mensuração da corno Laboratório de Ecologia de Bentos no Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, ambas metodologias através de espectrofotometria. Adicionalmente, realizamos, por titulometria, as aferições de oxigênio no tempo inicial e o após cinco dias de incubação à 20°C para o cálculo da demanda bioquímica (Figura 7). Estas análises seguiram a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).



Figura 7. Avaliação *in situ* de qualidade de água (oxigênio dissolvido).

As análises microbiológicas de Coliformes Totais e *Escherichia coli* – *E.coli* – foram realizadas através do método do Colipaper Petri da Alfakit, na qual a cartela com meio de

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS

cultura em forma de gel desidratado foi imersa diretamente na água, ocorrendo contato dos microrganismos com os nutrientes. O meio de cultura utilizado trata-se de um meio cromogênico diferencial que permite a contagem das colônias. Após a imersão as cartelas com as membranas foram incubadas em estufa a 37°C durante 15 horas, e logo após foi realizada a contagem das colônias, representadas pela coloração violeta a azul para *E. coli* e violeta a azul e róseo a vermelho para Coliformes Totais. O resultado é expresso em unidades formadoras de colônias por 100 mL após o ajuste pelo fator de correção.

Cálculo de Índice de Qualidade de Água (IQA)

O cálculo do IQA é realizado a partir do produto ponderado de nove variáveis que são: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (N Total), fósforo total (P Total), coliformes fecais e, cada qual com seus respectivos pesos (w) em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água, (Tabela 3), e “notas de qualidade” (q), em função de seu teor na água e cuja fórmula pode ser expressa na equação 2.1:

$$\sum_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3.1)$$

Onde:

IQA = Índice de Qualidade da Água;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro, número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que, como na equação 2.2:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3.2)$$

O peso relativo (w_i) de cada parâmetros são valores fixados para cada variável de qualidade de água que compõe o IQA.

Tabela 3 – Peso relativo de parâmetros de qualidade de água para cálculo do IQA.

<i>Parâmetros de qualidade da água</i>	<i>Peso (w)</i>
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
potencial Hidrogeniônico (pH)	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduos totais (Sólidos Totais Dissolvidos -STD)	0,08

Fonte: ANA (2022)

O resultado do IQA, por sua vez, é apresentado numa escala variando de 0 a 100, como representado na Tabela 4.

Tabela 4 - Categorias de qualidade da água segundo o IQA.

<i>Qualidade da água</i>	<i>Ponderação</i>
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB (2022)

Levantamento rápido da biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água

Foram realizadas amostragens de macroinvertebrados bentônicos em sete sítios amostrais (P1; P2; P3; P4; P5; P6; P7), uma vez que estes locais pertencem aos limites ou às áreas limítrofes ao Parque Nacional da Serra do Gandarela. Em cada ponto foram coletadas amostras em substratos de sedimento fino (areias), de sedimento grosso (cascalhos) e folhiço, utilizando um amostrador do tipo Surber (abertura de 30 cm, 0,09m² área e malha de 250 µm). Em campo as amostras foram triadas e os organismos foram identificados sob

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS






microscópio estereoscópico utilizando chaves taxonômicas específicas (HAMADA et al., 2018; MUGNAI et al., 2010) até o nível taxonômico de famílias, exceto para os grupos Clitellata, Arachnida, Lepidoptera, Crustacea, Malacostraca, Turbellaria, Collembola e Oligochaeta. Posteriormente, os organismos foram depositados na Coleção de Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais.

Para avaliar a estrutura das comunidades bentônicas foram calculados os índices de riqueza taxonômica, abundância de indivíduos, diversidade de Shannon-Wiener, de Simpsons e equitabilidade de Pielou (MAGURRAN, 1999, 2013) utilizando o programa estatístico *PAST* (Paleontological Statistic Software).

Para avaliar a qualidade biológica da água foram calculados os índices Biological Monitoring Working Party Score System (BMWP) e Average Score per Taxon (ASPT). Foram atribuídos valores de 1 a 10, variando de acordo com o grau de tolerância ou sensibilidade de cada grupo taxonômico, sendo 1 para os organismos tolerantes e 10 para organismos sensíveis (JUNQUEIRA et al., 2018; MONTEIRO et al., 2008).

O somatório das pontuações permite classificar a qualidade de água. Essa classificação é dividida em cinco classes que correspondem ao grau de contaminação do curso d'água (Monteiro et al., 2008). São atribuídas cinco cores para definir a qualidade da água: (i) azul, qualidade de água excelente; (ii) verde, qualidade boa; (iii) amarela, qualidade regular; (iv) laranja, qualidade ruim e; (v) vermelha, péssima qualidade de água (Tabela 5).





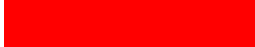
Tabela 5: Classificação de qualidade de água de acordo com o índice BMWP.

Classe	Pontuação	Qualidade da água	Cor indicativa
I	> 81	Excelente	
II	80 - 61	Boa	
III	60 - 41	Regular	
IV	40 - 26	Ruim	
V	< 25	Péssima	

Em seguida, foi calculado o índice BMWP-ASPT, utilizando a pontuação BMWP dividida pelo número de táxons encontrados em um dado sítio amostral (Tabela 6). Dessa forma, quanto maior o valor encontrado, melhor a qualidade ambiental (CALLISTO et al., 2021).

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS

Tabela 6: Classificação da qualidade da água de acordo com o índice BMWP/ASPT.

Classes de qualidade	Índice BMWP/ASPT	Qualidade da água	Cor indicativa
1	> 6,0	Muito Boa	
25,0 - 6,0	Boa		
33,9 - 4,9	Regular		
42,5 - 3,8	Ruim		
5	< 2,5	Péssima	

Para classificação em grupos tróficos funcionais (GTF), os táxons encontrados foram classificados de acordo com sua forma de obtenção de alimento, conforme os critérios descritos por CUMMINS et al. (2005); MERRITT et al. (2014); RAMÍREZ & GUTIÉRREZ-FONSECA (2014); RODRIGUEZ et al. (2021). Foi avaliada a dominância relativa dos principais grupos funcionais: fragmentadores (FR), coletores-catadores (CC), coletores-filtradores (C-F), raspadores (RA) e predadores (PR). Os fragmentadores utilizam plantas, madeiras e outras partículas orgânicas grossas (CPOM: > 1mm), transformando-as em pedaços menores, os quais ficam disponíveis para os coletores-catadores, que por sua vez, se alimentam de matéria orgânica particulada fina (FPOM: 50 μ m - 1mm) e ultrafina (0,5-50 μ m). Os coletores-filtradores filtram a matéria orgânica particulada fina da coluna d'água. Os raspadores são os organismos que possuem seu aparato bucal adaptado à raspagem de perifíton (algas e outros microrganismos associados) na superfície de rochas e parte da vegetação submersa (MERRITT et al., 2014), portanto, a dominância dos raspadores está diretamente associada à produção primária fitobentônica (RAMÍREZ & GUTIÉRREZ-FONSECA, 2014). Os predadores, por sua vez, capturam e engolem presas vivas (>0,5mm), podendo se alimentar também de fluidos corporais e tecidos de suas presas (Cummins et al., 2005). A função dos predadores nos ecossistemas aquáticos é muito importante, pois ela tem o potencial de controlar populações de outros organismos e também contribuem ao fluxo de energia (Tabela 7) (RAMÍREZ & GUTIÉRREZ-FONSECA, 2014).

Tabela 7: Categorias de grupos tróficos funcionais e fontes de recursos (adaptado de CUMMINS et al., 2005 e MERRITT et al., 2017. MOPG = Matéria Orgânica Particulada Grossa e MOPF = Matéria Orgânica Particulada Fina.

<i>Grupos tróficos</i>	<i>Mecanismos, alimentação, tamanho de partículas</i>	<i>Recursos alimentares dominantes</i>	<i>Amplitude de tamanho de partículas de alimento (mm)</i>
	Mastigam folhas condicionadas	MOPG em decomposição	
Fragmentadores	por hyphomicetos aquáticos ou tecidos de plantas vasculares, ou madeira apodrecida.	(ou macrófitas aquáticas vivas) de plantas vasculares.	>1,00
Coletores- filtradores	Alimentam-se de partículas em suspensão, filtrando a água.	MOPF- partículas de detritos em decomposição; algas, bactérias, fezes de invertebrados.	0,01-1,00
Coletores- catadores	Alimentam-se de partículas depositadas no sedimento ou coletam partículas em áreas deposicionais.	MOPF- partículas de detritos em decomposição; algas, bactérias, fezes de invertebrados.	0,05-1,00
Raspadores	Se aderem à rochas e superfícies de madeira, gravetos ou plantas aquáticas enraizadas. Capturam e engolem presas	Perifíton-algas filamentosas não aderidas e detritos associados, microflora, fauna e fezes.	0,01-1,00
Predadores	ou tecidos, ingerem fluidos corporais	Presas, animais vivos.	>0,5

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas as seguintes proporções dos GTFs para avaliar a condição funcional das assembleias de macroinvertebrados bentônicos em cada sítio amostral: (CF/CC): para a quantidade de matéria orgânica particulada fina transportada na coluna d'água, calculada como a proporção de coletores-filtradores sobre coletores-catadores; (F/CF+CC): para a quantidade de matéria orgânica partícula grossa disponível, calculada como proporção de fragmentadores sobre coletores-filtradores e coletores-catadores; (R+CF/F+CC): para estabilidade do substrato, estimado a partir da proporção de raspadores e coletores-filtradores sobre fragmentadores e coletores-catadores (CALLISTO et al., 2021; CUMMINS et al., 2005).

Para avaliar a riqueza e a composição de grupos de macroinvertebrados em cada sítio amostral em relação ao total de táxons amostrados no PARNA Gandarela e seu entorno, exploramos a variação na diversidade beta (β) (diferença na composição entre locais numa região). Para tal, calculamos a diversidade β entre riachos amostrados (escala regional) em entre substratos dentro de cada riacho (escala local) através do índice de Jaccard entre os riachos do PARNA Gandarela (BASELGA et al. 2012). A diversidade β é calculada conforme a fórmula 2.3, sempre entre pares de unidades amostrais e, quanto maior seu valor, mais diferentes são os locais:

$$\beta = \frac{b + c}{a + b + c} \quad (3.3)$$

Onde a = quantidade de espécies em comum entre os dois lugares, b = quantidade de espécies exclusivas do primeiro local, c = quantidade de espécies exclusivas do segundo local. O índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 0, mais similares são os locais, quanto mais próximo de 1, mais diferentes são os locais entre si.

Por fim, fizemos a decomposição da diversidade β nos componentes de aninhamento e substituição de espécies, como proposto por Baselga (2010). O aninhamento, também tratado por variação na composição causada por perda de espécies, demonstra que um grupo de táxons encontrado em um determinado local menos diverso é uma parte menor de um grupo maior de táxons encontrado em outro local da região mais diverso. Enquanto isso, a substituição pode ser interpretada quando a variação na composição é causada porque novos locais possuem novas espécies para a região, e independe da variação no número de espécies em cada local (SIMPSON, 1943). Todos estes cálculos foram realizados no programa R (R Core Team, 2021), através do pacote *Betapart* disponibilizado por (BASELGA & ORME, 2012), de acordo com a fórmula 2.4:

$$\beta_{\text{total}} = \beta_{\text{substituição}} + \beta_{\text{aninhamento}} \quad (3.4)$$

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para os indicadores termodinâmicos, foram realizadas as medições do comprimento de cada espécime coletado em papel milimetrado sob microscópio estereoscópico. A biomassa seca (g/m^2) foi estimada utilizando equações de comprimento-massa para cada grupo (CALLISTO et al., 2021; JOHNSTON & CUNJAK, 1999; STOFFELS et al., 2003).

A Eco-exergia foi calculada multiplicando o valor da biomassa seca por um fator de conversão tabelado para cada família de macroinvertebrados (JØRGENSEN et al., 2005; LINARES et al., 2018b). A Eco-exergia específica foi calculada dividindo a Eco-exergia total de cada ponto pela biomassa seca total de cada ponto.

Capítulo 4

Resultados

Cobertura vegetal, uso e ocupação da terra em escala local

O levantamento de uso da terra e ocupação humana avaliou os percentuais de urbanização, cobertura vegetal e uso do solo, extensão de microbacia hidrográfica para cada sítio amostral, variações topográficas e litográficas. Apesar de ter seus limites localizados em oito municípios, a maior parte do entorno do parque é compreendida por vegetação natural, principalmente em sua porção nordeste, onde há maior elevação e, por isso, o acesso é mais restrito (Figura 8). Os maiores focos urbanos que o circundam são de Nova Lima, Honório Bicalho e Rio Acima, que estão concentrados na porção noroeste do parque, onde também se encontram dois dos pontos de referência utilizados nesse estudo.

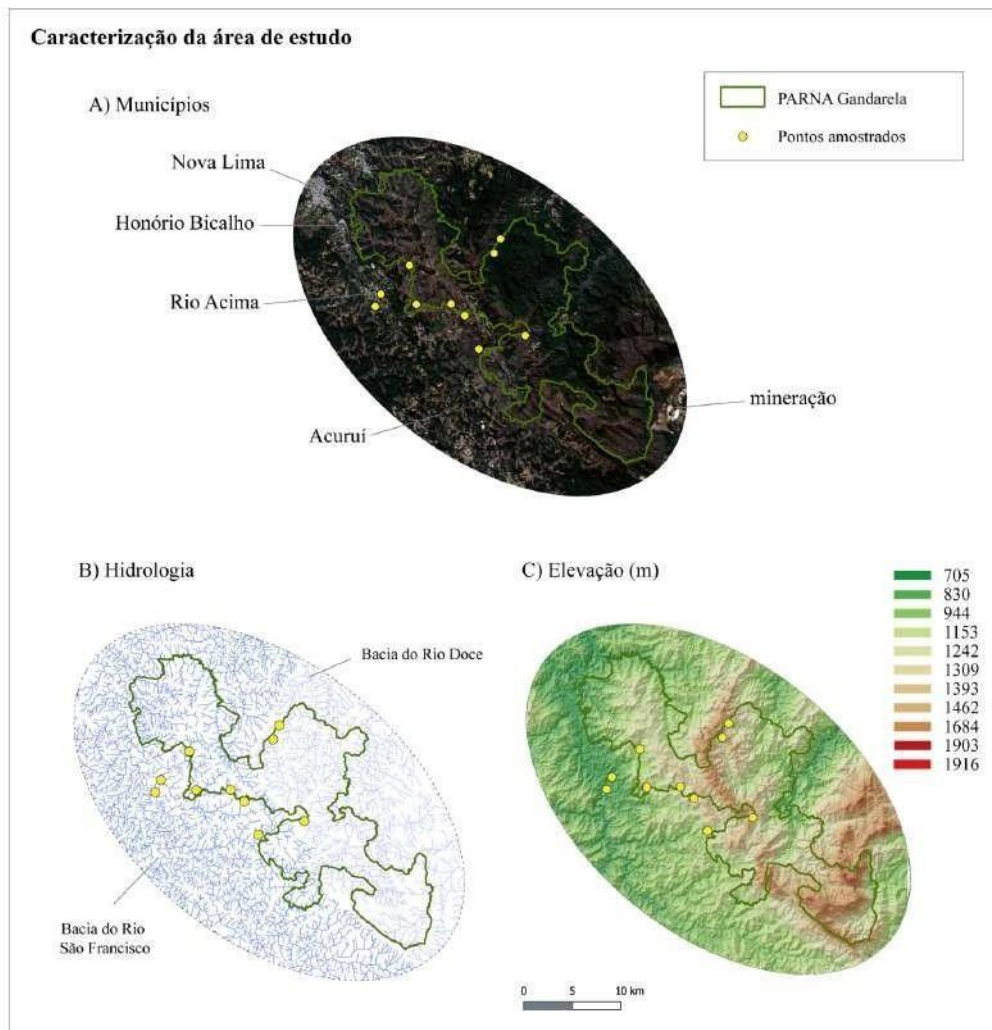


Figura 8. Caracterização da área de estudo. A) Imagem de satélite com vegetação natural e municípios na área de estudo; B) Bacias hidrográficas; C) Elevação.

A Serra do Gandarela, com elevação que chega a 1916m (Figura 8), é um divisor de águas nos limites do parque. A porção nordeste tem grande influência da corrente de ar que vem de encontro com a serra e traz intensa umidade. Como consequência, essa região possui floresta densa, principalmente nas partes mais altas. A corrente de ar que mantém essa floresta não ultrapassa a parte mais alta da serra e, por isso, a porção sudoeste possui uma vegetação mais rasteira, com solo exposto, afloramentos rochosos e onde se localizam os municípios que mais podem impactar os ecossistemas presentes na serra.

Nas partes mais altas e no centro da área de estudo, localizam-se os geossistemas ferruginosos. Formados por itabirito e canga, a alta resistência desse afloramento garante sua permanência, mesmo sofrendo grande intemperismo ao longo dos últimos milhões de anos. O ponto de referência Lagoa do Metro é localizado a 1400m de elevação e caracteriza-se como um lago natural de altitude, formado pela água da chuva depositada

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

nesse afloramento com alta impermeabilidade, fenômeno raro em regiões que não são recebem água de degelo (como em áreas de cordilheira).

A Serra do Gandarela também funciona como uma barreira física, dividindo duas grandes bacias hidrográficas, a Bacia do Rio São Francisco e a Bacia do Rio Doce. A nascente do Rio São Francisco, principal rio da bacia de mesmo nome, se encontra na Serra da Canastra, localizada a aproximadamente 400km a oeste da Serra do Gandarela. Os biomas mais comuns encontrados ao longo da extensão dessa bacia é o Cerrado e Caatinga (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco; cbhsaofrancisco.org.br), o que também acontece na Serra do Gandarela, onde essa bacia está presente na porção sudoeste, onde predomina uma vegetação rupestre. Essa porção da serra apresenta muitos afloramentos rochosos e, pela facilidade de acesso, é onde se concentram atividades de mineração. A porção nordeste da serra é drenada pela Bacia do Rio Doce, na qual seu principal rio, Rio Doce, nasce a aproximadamente 150km da área de estudo. Cerca de 98% da área da bacia está inserida no bioma Mata Atlântica (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce; cbhdoce.org.br), o que também se repete na nossa área de estudo (Figura 9). Por se encontrar próximo a nascentes de duas das principais bacias hidrográficas do Brasil, o sistema fluvial da Serra da Gandarela pode ter um importante papel na recuperação dessas bacias, principalmente com os cenários climáticos futuros com previsões de escassez hídrica.

A cobertura e uso de solo da área de estudo apresentou grande variação, tanto pelas características geomorfológicas quanto pela distribuição dos distúrbios antrópicos. Os três pontos de referência localizados no entorno no parque foram Cachoeira Chica Dona, Cachoeira Sansa e Rio das Velhas. Os dois últimos se encontram em áreas urbanizadas e, por consequência, são os que apresentaram as menores taxas de vegetação natural. Além da urbanização, esses pontos também apresentam área de mineração, agricultura, pastagem e silvicultura. Pela sua proximidade com as áreas urbanas, baixa elevação (Tabela 8) e ser uma área de livre acesso, também é uma forte atração turística para a população. O terceiro ponto no entorno do parque, Cachoeira Chica Dona, não sofre com os mesmos distúrbios que os outros dois, pois se encontra em uma região de maior elevação (Tabela 8) e, portanto, apresenta maior dificuldade de acesso. Por isso, essa cachoeira possui níveis de preservação compatíveis com os pontos localizados dentro do parque (Tabela 8), mesmo recebendo turismo ecológico e apresentando estruturas construídas para tal (como banheiro e bancos).

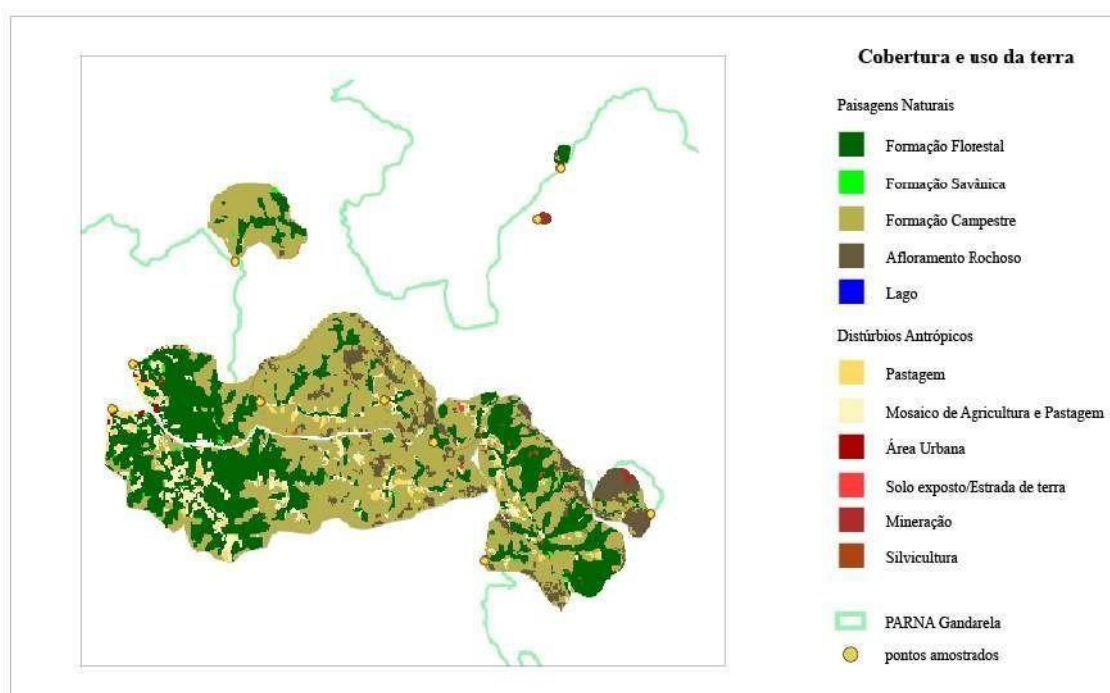


Figura 9. Cobertura e uso da terra na área de estudo, destacando paisagens naturais e distúrbios antrópicos. O padrão de coloração segue as classificações do MapBiomas.

Os sítios amostrais Cachoeira e Córrego do Viana, Córrego Cortesia, Lagoa do Mingu e Córrego Ferro Puro se localizam na porção noroeste da Serra do Gandarela, influenciados pela falta de umidade e pela Bacia do Rio São Francisco. Apesar da região estar inserida no bioma Mata Atlântica, a vegetação natural predominante nessa porção da serra é rupestre, com fitofisionomia e espécies típicas do Cerrado. Apesar de hoje serem inseridos em uma unidade de conservação, esses pontos apresentam áreas de agricultura e pastagem, resquícios das atividades antrópicas que ocorriam antes da criação do parque nacional em 2014. O ponto Córrego Ferro Puro foi selecionado por previamente ser uma área de mineração de uma empresa de mesmo nome, mas que cessou as atividades após a criação do parque. Apesar disso, a barragem construída para essas atividades ainda permanece no local, alterando a paisagem da área. Esse ponto foi o que apresentou a maior área de afloramento rochoso e foi o que possui a maior porcentagem de área classificada como atividade de mineração, mais do que os pontos amostrados no entorno do parque.

Os dois pontos da porção nordeste da serra, Lagoa do Metro e Córrego da Mina do Lopes, não são afetados por distúrbios como urbanização e agricultura por se localizarem afastados de centros urbanos. Entretanto, possuem grandes áreas de afloramento rochoso, por se localizarem nas partes mais altas da serra (cerca de 1400m de elevação; Tabela 8) e se tornam atrativos para projetos de mineração. Nesses dois pontos,

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

foram identificadas áreas com exploração mineral, reduzindo a cobertura vegetal natural (Tabela 8). É importante destacar que esses dois pontos são os mais próximos às nascentes de seus respectivos cursos d'água e o impacto gerado pela mineração tem o potencial de afetar todo o rio ou córrego, até a sua foz.

Tabela 8. Resultados das métricas de cobertura vegetal e uso da terra nos sítios amostrais no PARNA Gandarela.

<i>Métrica</i>	Cachoeira Chica Dona	<i>Cachoeira Mingu</i>	Córrego Viana	<i>Córrego Mina do Lopes*</i>	<i>Córrego Cortesia</i>	Cachoeira Viana	<i>Córrego Ferro Puro</i>	Cachoeira Sansa	<i>Rio das Velhas</i>	Lagoa do Metro
% vegetação natural	93,374	99,442	91,014	87,156	91,427	94,458	95,316	85,285	86,667	5,600
% urbanização	0	0	0	0	0	0	0	0,332	3,353	0
% agricultura/ pasto/ mineração	6,626	0,558	8,987	12,844	8,573	5,542	4,684	2,376	0,222	94,399
Elevação	1355,66	1205,98	1286,44	1375,95	1387,38	1222,91	1468,19	1107,27	1039,47	1416,10
Declividade	20,71	19,55	23,08	11,80	16,40	19,27	23,21	22,69	23,37	19,17
Densidade Populacional (habitantes/km ²)	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,04	0
Densidade Habitacional (domicílios/km ²)	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0
Distância até a cidade (km)	10,77	4,35	7,33	13,89	8,75	3,71	15,04	0,19	0,09	12,83
Distância até a cidade (km)	7,05	4,11	7,45	13,88	9,28	4,42	10,85	0	1,50	12,60

* O MapBiomias não detectou corretamente o uso da terra nesse ponto; as classes identificadas como afloramento rochoso e formação campestre foram reclassificados nesse estudo como área de mineração, com base nas imagens de satélite. A imagem abaixo ilustra o ponto mencionado (identificado como um círculo amarelo e sua área de buffer demarcada com linha verde).



Figura 10. Imagem de satélite do ponto do Córrego Mina do Lopes (ponto em amarelo), destacando a área de mineração que foi equivocadamente identificada como formação rupestre e afloramento rochoso pela classificação do MapBiomias. A linha em verde demarca o *buffer* utilizado e a linha azul representa o curso d'água.

Tabela 9. Classificação litológica nos sítios amostrais no PARNA Gandarela.

<i>Área de cada mineral (km)</i>	Cachoeira Chica Dona	<i>Cachoeira Mingu</i>	Córrego Viana	<i>Córrego</i>		Córrego Ferro Puro	<i>Cachoeira Sansa</i>	Rio das Velhas	<i>Lagoa do Metro</i>
				<i>Mina do Lopes</i>	Córrego Cortesia				
Metaconglomerado	5,714,15	1,26	0	1,32	11,71		014,3315,920		
Filito1,13	0	0	0	0	0		1,01000		
Itabirito0,02	0	0	0,18	0	0		0,30000,03		
Areia0,330	0	0,012	0	0	0,79000,06				
Metamáfica, Metagrauvaca, Xisto	7,48	0	0	0	0,45	0	05,9613,060		

De forma geral, o tipo de vegetação natural com maior ocorrência nos pontos amostrados foi Mata Atlântica, seguida por Formação Campestre (Cerrado) (Tabela 8). A área antropizada com maior efeito nas áreas estudadas foi a urbanização (entre 11-14%), seguida por combinação de agricultura, pastagem e mineração (variando entre 3 e 27%).

Nas últimas décadas, a região do Quadrilátero Ferrífero vem sofrendo grandes pressões políticas e econômicas visando sua exploração mineral. Na contramão desse apelo econômico, temos uma das maiores áreas de preservação ambiental do estado, uma região com grande biodiversidade de espécies e endemismos. Dessa forma, a criação de um Parque Nacional garante a conservação ambiental, constituindo-se como bem da União, que por seu caráter federal possui maior robustez em termos legislativos (Decreto Federal Nº 84.017, de 21 de setembro de 1979).

A presença predominante de formações rochosas ferruginosas nas áreas estudadas eleva seu caráter de conservação, uma vez que essas áreas possuem características únicas com distribuições extremamente restritas e geralmente em áreas altamente exploradas pela mineração (Drummond et al., 2005). A área do PARNA Gandarela é composta por distintas formações florestais e campestres com alto grau de preservação, o que é um importante indicativo de qualidade e heterogeneidade dos ambientes terrestres que estão intimamente conectados aos ambientes aquáticos (Dolabela et al., 2022). Os baixos níveis de antropização dos pontos inseridos no parque refletem a importância da criação dessa unidade de conservação como medida de evitar a expansão urbana nessa área.

Protocolo de avaliação ecológica rápida da integridade de zonas ripárias e diversidade de habitats físicos

Os resultados obtidos da aplicação do RAP (Tabela 10) evidenciaram elevada diversidade de habitats e integridade ambiental nos ecossistemas aquáticos do PARNA Gandarela e seu entorno. Com exceção do P7, em todos os pontos amostrados dentro dos limites do PARNA Gandarela ou logo após os limites, a pontuação foi superior a 70, sendo classificados como áreas em condições de referência. O P7 possui características que o distanciam da condição natural, devido à proximidade com estrada, presença de barramento no leito, ausência de mata ciliar, grande deposição de sedimentos finos (areia/lama) (Figura 12 C). Os sítios amostrais 8 e 9 apresentaram os piores valores, sendo ambos categorizados como trechos impactados (Figura 12 E e D, respectivamente).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Tabela 10. Pontuação obtida por cada sítio amostral na aplicação do Protocolo de Avaliação de Condições Ecológicas de Callisto et al. (2002). As pontuações variam de 0 a 4 nos 10 primeiros parâmetros e de 0 a 5 nos parâmetros 11 a 22.

Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
1. Tipo de ocupação das margens;	2	4	4	4	4	4	4	0	0
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	2	4	2	4	2	4	2	2	0
3. Alterações antrópicas;	4	2	2	4	2	4	4	2	0
4. Cobertura vegetal no leito;	4	4	4	2	4	0	2	0	0
5. Odor da água;	4	4	4	4	4	4	4	2	2
6. Oleosidade da água;	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7. Transparência da água;	4	4	4	4	4	4	0	4	2
8. Odor do sedimento (fundo);	4	4	4	4	4	4	4	2	2
9. Oleosidade do fundo;	4	4	4	4	4	4	4	4	4
10. Tipo de fundo;	4	4	4	3	4	4	2	2	2
11. Tipos de fundo (habitats);	5	5	5	5	5	3	2	0	0
12. Extensão de rápidos;	5	5	2	2	3	2	2	2	0
13. Frequência de rápidos;	5	5	3	5	5	2	2	2	0
14. Tipos de substrato;	5	0	3	4	2	0	0	0	0
15. Deposição de lama;	5	5	5	4	3	3	0	0	0
16. Depósitos sedimentares;	5	5	5	4	3	2	2	2	2
17. Alteração no canal do rio;	5	5	5	5	5	5	5	2	0
18. Características do fluxo das águas;	5	2	5	2	4	3	5	2	0
19. Presença de mata ciliar;	2	5	5	5	5	3	5	0	0
20. Estabilidade das margens;	3	4	5	5	4	5	2	0	0
21. Extensão da mata ciliar;	3	5	3	5	5	5	0	0	0
22. Presença de plantas aquáticas.	5	4	5	2	3	2	0	0	0
Total	89	88	87	85	83	71	55	32	18

Os resultados da aplicação do protocolo de Callisto et al. (2002) permitiram construir um gradiente de condições ambientais considerando os sítios amostrais com maior pontuação e condições de referência ambiental até os sítios mais degradados por pressões de atividades humanas e menor pontuação (Figura 11). Sítios amostrais com maior percentual de cobertura vegetal e mínima intervenção antrópica (P1; Figura 12 A) apresentaram valores mais altos no RAP, enquanto pontos com mínima cobertura vegetal e maior intervenção antrópica (P8 e P9; Figuras 12 E e D) apresentaram menores valores. Em concordância, o ponto com mínima cobertura vegetal e mínima intervenção antrópica (P7; Figura 12C) apresentou valor intermediário no RAP.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

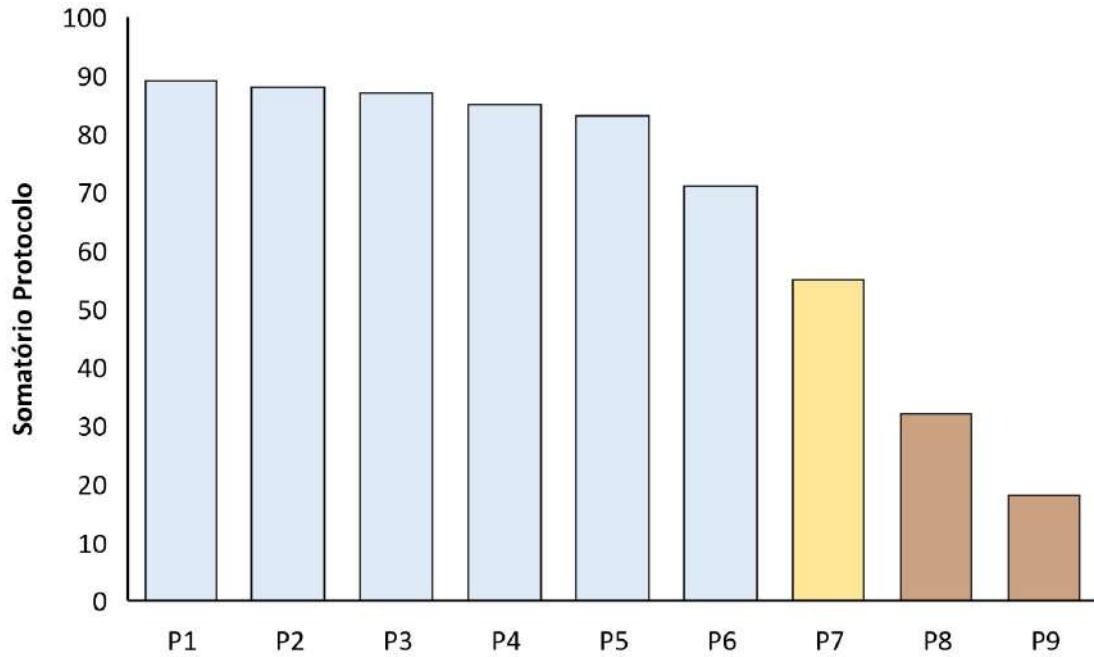


Figura 11. Gradiente de condições ambientais dos sítios amostrados após aplicação do Protocolo de Avaliação de Condições Ecológicas de Callisto et al. (2002). Valores superiores a 61 representam trechos em condições de referência, entre 41 e 60 trechos alterados e valores inferiores a 40, impactos por atividades humanas.

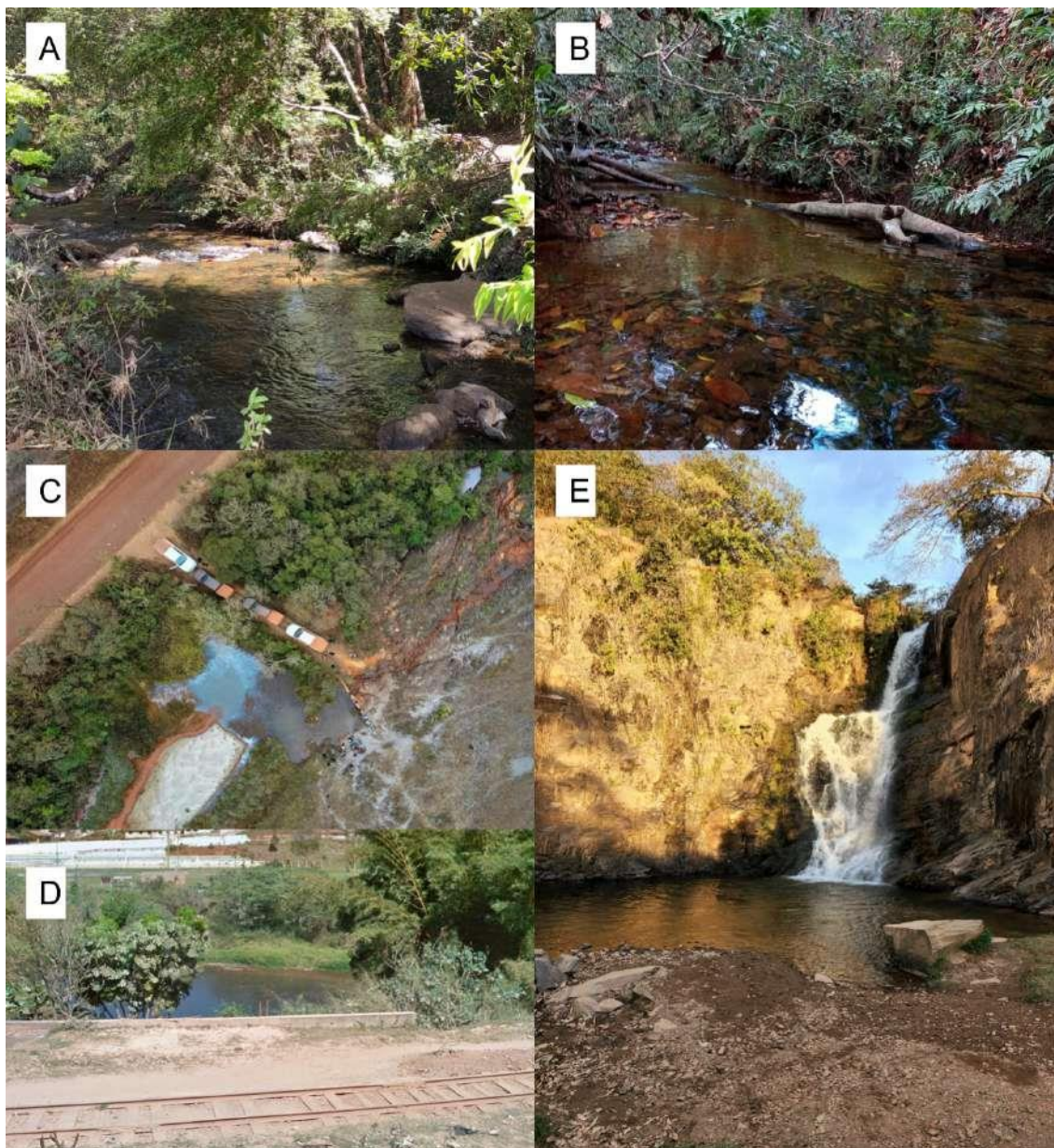


Figura 12. Fotografias dos sítios amostrais ao longo do gradiente ambiental. A e B) P1 e P3, respectivamente, áreas em condições de referência; C) P7 área impactada; D e E) P9 e P8, respectivamente, áreas alteradas.

Caracterização do habitat físico

O conjunto de dados de caracterização física dos sítios amostrais evidenciam alta variabilidade de habitat físico nos ecossistemas aquáticos no PARNA Gandarela. Em geral, os valores de largura molhada e profundidade foram condizentes com fluxos d'água classificados por Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) como riachos pequenos, sendo a largura máxima de 5,60 metros e mínima de 1,38 metros. As medidas de altura

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

do leito sazonal evidenciaram variação na profundidade dos cursos d'água em época de chuva, que variaram de um aumento de 0,49 metros em P6 até um aumento de dois metros em P1.

Tabela 11. Caracterização física dos sítios amostrais no PARNA Gandarela.

	P1	P3	P4	P5	P6
	Média (±SD)	Média (±SD)	Média (±SD)	Média (±SD)	Média (±SD)
Morfologia do canal					
Profundidade (cm)	19,80 ± 13,69	18,8 ± 18,62	8,40 ± 4,86	17,6 ± 12,31	44,06 ± 23,91
Largura molhada (m)	3,93 ± 0,21	2,25 ± 0,23	2,24 ± 0,73	2,09 ± 0,64	5,02 ± 0,55
Largura do leito sazonal (m)	6,30 ± 0,66	3,26 ± 0,25	2,75 ± 0,78	4,90 ± 0,98	6,18 ± 0,54
Altura do leito sazonal (m)	0,83 ± 0,15	1,36 ± 0,65	0,66 ± 0,04	1,42 ± 0,19	0,61 ± 0,12
Composição do substrato					
% areia	0	53,33 ± 46,19	13,33 ± 23,10	46,67 ± 11,55	40,00 ± 20,00
% banco de folhas	6,67 ± 11,55	0	0	0	20,00 ± 20,00
% cascalho fino	13,33 ± 11,55	6,67 ± 11,55	0	20,00 ± 34,64	0
% cascalho grosso	0	0	0	6,67 ± 11,55	0
% matacão	33,33 ± 41,63	0	0	0	0
% rocha lisa	6,70 ± 12,00	0	0	6,67 ± 11,50	0
% rocha rugosa	20,00 ± 20,00	6,67 ± 11,55	80,00 ± 34,60	0	26,7 ± 11,50
% silte/argila/lama	6,67 ± 11,50	0	6,67 ± 11,50	0	13,30 ± 23,10
% seixo	13,3 ± 11,50	33,33 ± 57,74	0	20,00 ± 34,64	0
Cobertura de dossel					
% dossel no canal	87,75 ± 4,73	92,16 ± 4,49	91,91 ± 0,74	99,02 ± 1,70	83,33 ± 9,79
% dossel na margem	89,22 ± 1,70	98,04 ± 3,40	93,14 ± 6,80	100,00 ± 0,00	96,08 ± 4,49

A composição do substrato de fundo variou entre os sítios amostrais: em P1, matacão (33,33 ± 41,63) e rocha rugosa (20,00 ± 20,00); P3, areia (53,33 ± 46,19) e seixos (33,33 ± 57,74); P4, rocha rugosa (80,00 ± 34,60); P5 e P6, areia (46,67 ± 11,55 e 40,00 ± 20,00, respectivamente). Bancos de folhas apenas foram observados em P1 e P6.

Em contrapartida, a cobertura de dossel foi similar entre os pontos. Essa cobertura difere entre a margem (média de 95,29%) e o canal (média de 90,83%). O menor valor de cobertura do canal foi encontrado no P6 sendo de 75% e o menor valor de cobertura da margem foi encontrado P2 sendo de 85,29%. O P7 apresentou até 100% do canal coberto

por dossel e, juntamente com os P1 e P6 apresentaram até 100% da margem coberta por dossel.

Gradiente de elevação

Os sítios amostrais apresentaram elevações diferentes destacadas na Figura 13. A variação máxima foi de 684 metros entre o sítio com menor (P9 = 731m) e o ponto com maior elevação (P10 = 1421m). Os sítios amostrais com menores elevações correspondem àqueles no perímetro urbano da cidade de Rio Acima, que coincidem com maior ocupação humana. Os demais sítios amostrais apresentaram elevação superior a 1100m.

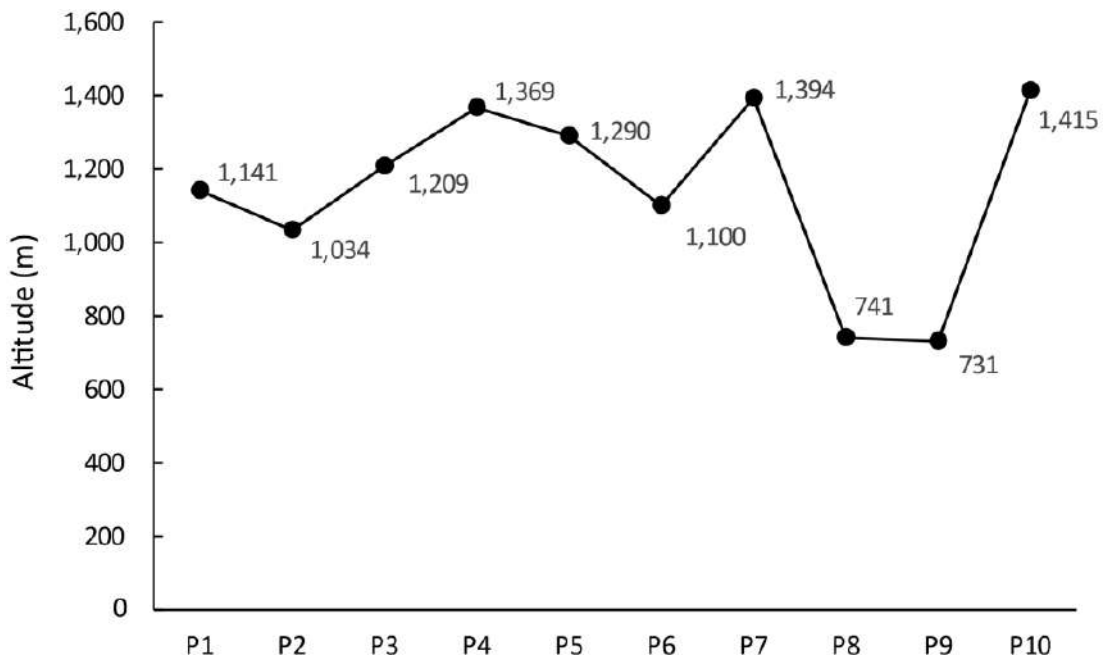


Figura 13. Gradiente de elevação dos sítios amostrais no PARNA Gandarela.

Qualidade de Água

Os valores dos parâmetros de qualidade de água Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos, Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio estão em conformidade com os limites da Resolução CONAMA 357/05 para águas Classe 1, em todos os sítios amostrais (Tabela 12). Por outro lado, os valores de Nitrogênio Total no Córrego Cortesia (P5), Fósforo Total no Rio das Velhas (P9), Coliformes na Cachoeira do Mingu (P2), Córrego do Viana (P3), Cachoeira do Viana (P6), Córrego Ferro Puro (P7), Cachoeira Samsa (P8) e no Rio das Velhas (P9) excederam os limites da norma (Tabela 3). A Cachoeira Samsa (P8) e o Rio das Velhas (P9) apresentaram os piores resultados para Coliformes Termotolerantes, 13 e 27 vezes maiores (respectivamente) ao limite definido pelo CONAMA 357/05 para águas de Classe 1 (200 UFC/100ml).

O Rio das Velhas foi o único sítio amostral a apresentar qualidade de água “Regular” pelo IQA (51 pontos, Tabela 12). Os valores do IQA nos pontos Cachoeira do Mingu (P2), Córrego do Viana (P3), Córrego Cortesia (P5), Cachoeira do Viana (P6), Córrego do Ferro Puro (P7) e Cachoeira Samsa (P8) foram classificados como “Boa” (entre 51 e 79). Os pontos da Cachoeira Chica Dona (P1), Córrego da Mina (P4) e Lagoa do Metro (P10) foram os que apresentaram maior qualidade de água, sendo classificados como “Ótima” pois os valores do IQA permaneceram entre 79 e 100.

Tabela 12 Resultados das variáveis físico, químicas e microbiológicas analisadas nos pontos do PARNA Gandarela regiões adjacentes e sua classificação IQA

Variáveis	Temp. (°C)	pH	Turbidez (NTU)	STD (ppm)	OD (mg/L)	OD (% sat)	DBO 5 dias/20°C	N Total (mg/L)	P Total (mg/L)	Coliformes Termotole. (UFC/100mL)	Coliformes Totais (UFC/100mL)	Condu. (µS/cm)	Resisti. (KΩ/cm)	Potencial Redox (mV)	Cor (mgPt/mL)	IQA	IQA Classificação
Limites Classe 1	6,0 a 9,0		≤ 40	≤ 500	≥ 6,0		≤ 3,0	10	0,1 (amb. lófico) 0,02 (amb. lêntico)	200					Natural		
Cachoeira Chica Dona	17.1	6.59	1	0	8.8	92	0.96	1.162	0.002	0	160	9.01	115.4	3.1	0	86.3	Ótima
Cachoeira do Mingu	16.8	6.41	0	0	8.8	95	1.03	8.931	0.004	0	400	7.52	114.3	17	0.07	68.7	Boa
Córrego do Viana	18.5	6.36	1	0	7.6	92	0.94	1.546	0.011	160	480	7.74	139.2	170.6	0	71.3	Boa
Córrego da Mina	12.2	6.54	1	20.5	8.8	102	0.61	0.546	0.004	0	160	64.9	10.11	129	0	89	Ótima
Córrego Cortesia	16.4	6	0	68.4	8.3	100	0.34	11.700	0.007	0	80	199.4	5.76	156	0	62.8	Boa
Cachoeira do Viana	15.4	6.65	0	63	9.2	103	0.48	4.085	0.008	0	480	229	5.81	111	0	79.3	Boa
Córrego Ferro Puro (Barramento)	13.7	6.14	2	3.41	6.4	98	0.69	2.392	0.000	0	560	21.3	51.7	34.9	0	77.4	Boa
Cachoeira Samsa	15	6.64	0	3.62	9.3	73	0.96	6.008	0.016	2720	4480	19.4	53.15	157.3	0	57.1	Boa
Rio das Velhas	18.2	7.19	27	34	8.7	103	2.05	6.931	0.026	5440	9600	79.4	13.14	147.8	0	49.7	Regular
Lagoa do Metro	20.1	7.72	5	240	7.1	101	1.29	0.546	0.004	0	0	531	2	125.6	6.39	87.3	Ótima

Legenda: **Temp:** Temperatura; **STD:** Sólidos Totais Dissolvidos; **OD:** Oxigênio Dissolvido; **DBO:** Demanda Bioquímica de Oxigênio; **N:** Nitrogênio; **P:** Fósforo; **Coliformes Termotole.:** Coliformes Termotolerantes; **Condu.:** Condutividade; **Resisti.:** Resistividade. Os valores em vermelho representam violação dos limites para a Classe 1, Resolução CONAMA 357/05.

Levantamento rápido da biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água

Composição taxonômica

Foram coletados 2.785 macroinvertebrados bentônicos classificados em 58 táxons sendo, 58 famílias da classe Insecta distribuídos em 7 famílias de Ephemeroptera, 2 Plecoptera, 9 Trichoptera, 10 Odonata, 4 Hemiptera, 8 Coleoptera, 1 Megaloptera, 9 Diptera e 1 lepidoptera. Além das classes Clitellata (hirudinida), Arachnida (acari), Crustacea, Malacostraca (amphipoda), Turbellaria (tricládida), Collembola e a subclasse Oligochaeta. A composição das assembléias bentônicas apresentaram semelhanças entre cada um dos sítios amostrais analisados no PARNA Gandarela, indicando condições de referência, demonstrando características ambientais satisfatórias para a manutenção da vida nos cursos d'água (Tabela 13-Anexo I).

Riqueza Taxonômica

Os sítios amostrais que apresentaram a maior riqueza taxonômica foram P1 (34), P2 (26), P4 (24), P5 (20), P3 (19), P6 (18) e P7 (16), respectivamente. Os sítios amostrais com maiores abundâncias de organismos foram P2 (598), P7 (495), P1 (416), P6 (392), P4 (375), P5 (323) e P3 (186) (Figuras 14 e 15).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

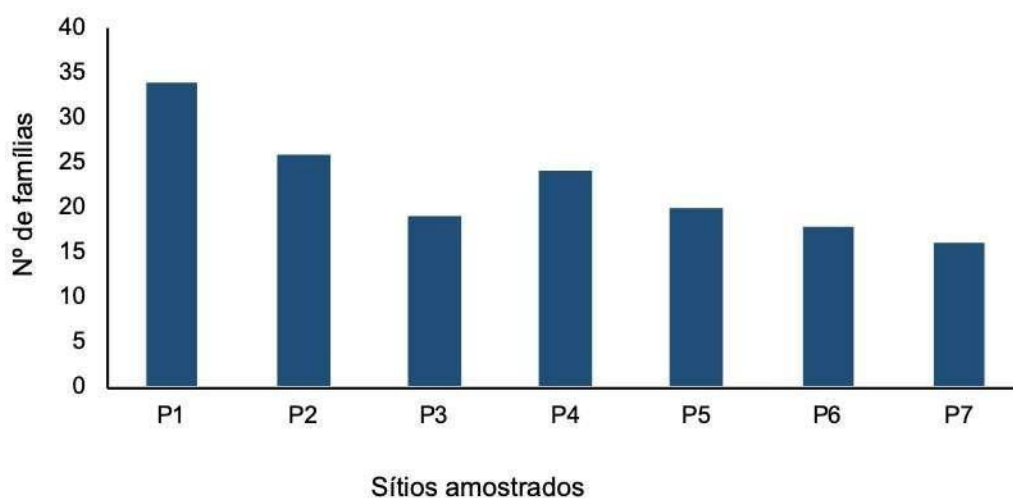


Figura 14. Riqueza taxonômica baseada nos macroinvertebrados bentônicos, bioindicadores de qualidade da água coletados nos sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

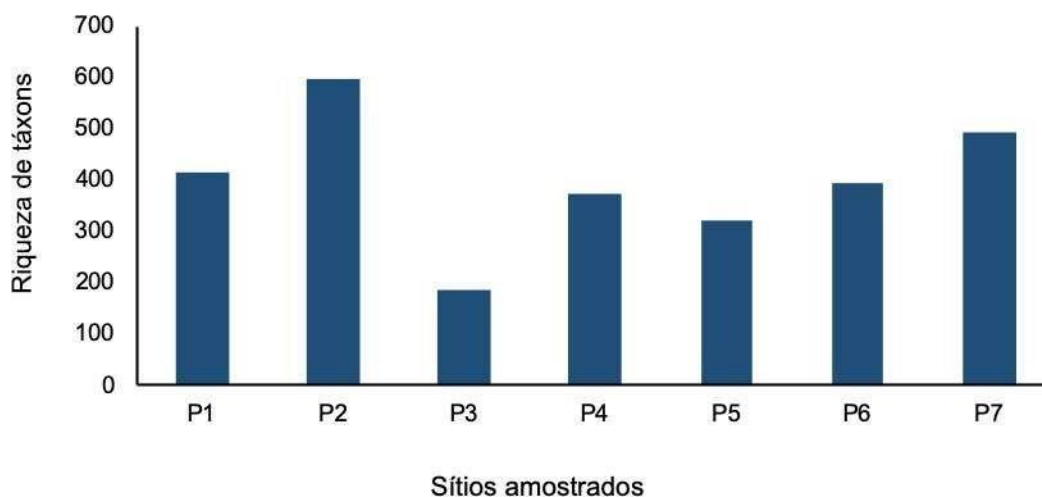


Figura 15. Abundância de indivíduos com base nos macroinvertebrados bentônicos, bioindicadores de qualidade da água coletados nos sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

Índices de diversidade de Shannon, Simpson e Pielou

O índice de diversidade de Shannon variou entre 2,21 (P1) e 0,91 (P7) (Figura 16). O índice de diversidade de Simpson variou entre 0,81 (P3) e 0,37 (P7) (Figura 17), com relação à equitabilidade de Pielou, o sítio que apresentou maior equitabilidade foi o P3 (0,72) seguido do sítio P1 (0,63) (Figura 18).

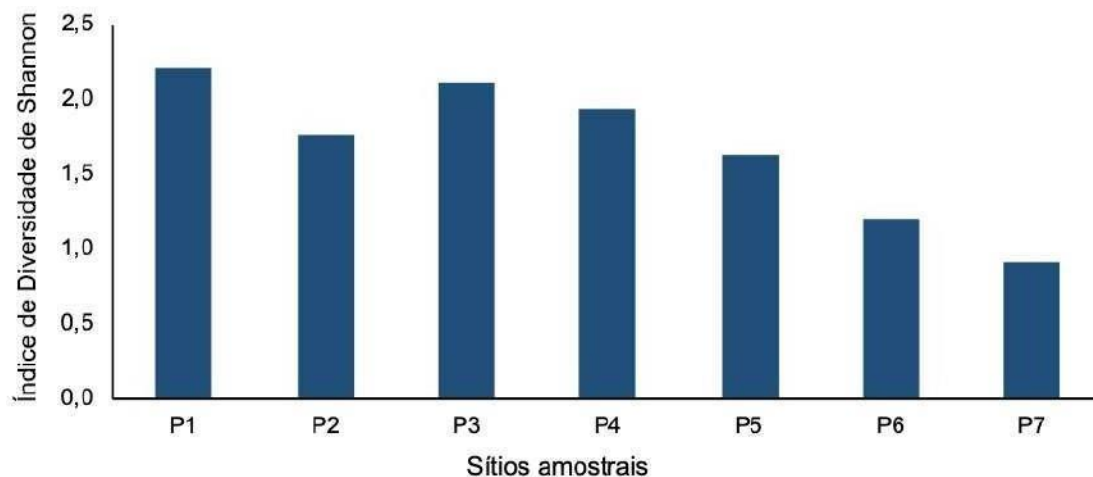


Figura 16. Índice de Diversidade de Shannon nos 7 sítios amostrais no Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

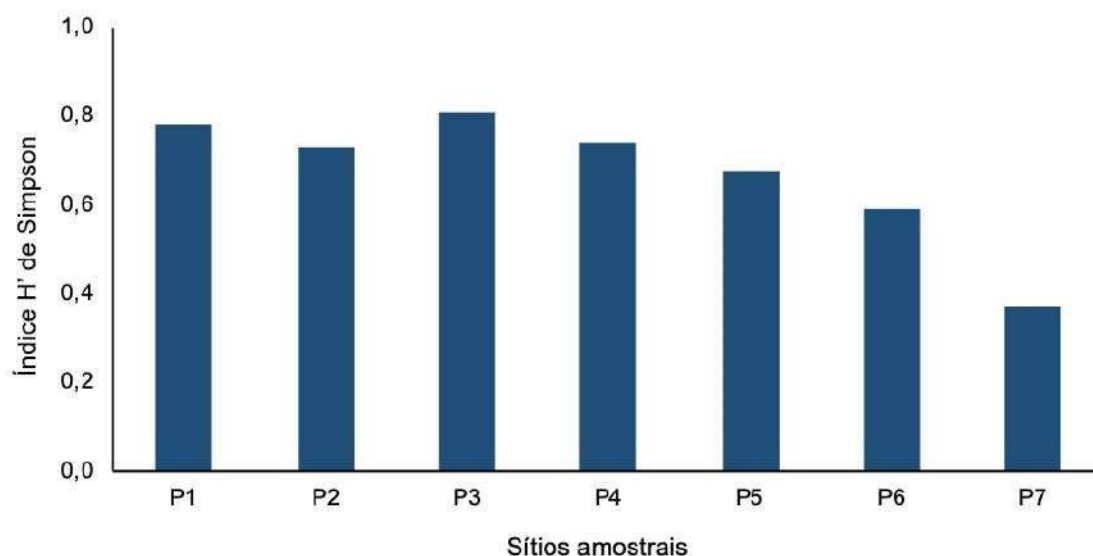


Figura 17. Aplicação do índice de H' Simpson nos 7 (sete) sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

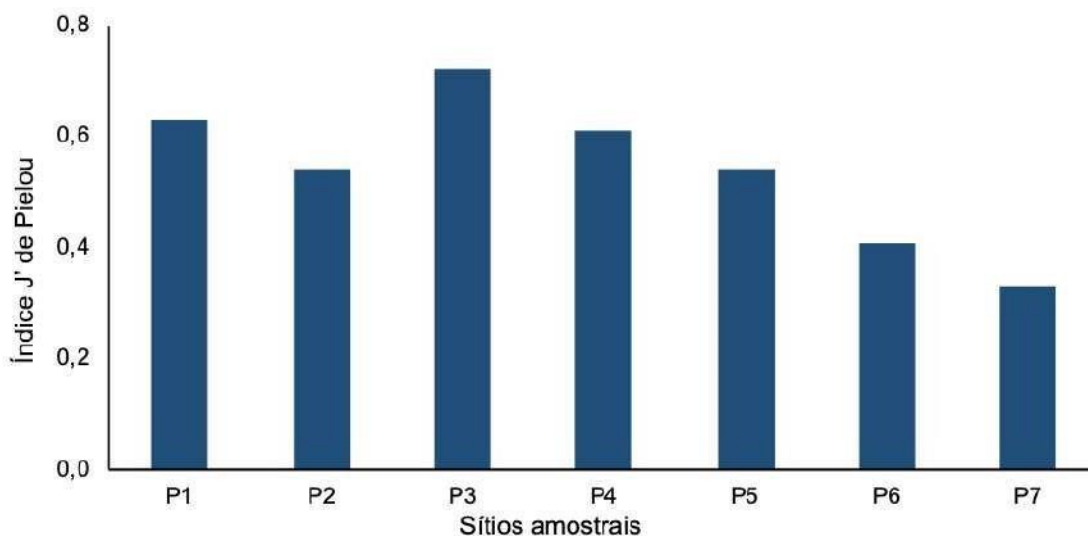


Figura 18. Aplicação do índice J' de Pielou nos 7 (sete) sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

Índices BMWP e BMWP-ASPT

As pontuações obtidas no índice BMWP indicam que em todos os sítios amostrais analisados, a qualidade da água encontra-se “Excelente” (Tabela 13).

Tabela 13- Resultados da aplicação do índice BMWP nos sítios amostrais no Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

<i>Classe</i>	<i>Sítio amostral</i>	<i>Somatório da pontuação</i>	<i>Qualidade da água</i>	Cor indicativa
I	P1	205	Excelente	
I	P2	143	Excelente	
I	P3	113	Excelente	
I	P4	144	Excelente	
I	P5	104	Excelente	
I	P6	112	Excelente	
I	P7	88	Excelente	

O índice BMWP-ASPT apresentou uma classificação “Muito boa” para a qualidade das águas nos sítios amostrais P1; P3; P4; e P6, e qualidade “Boa” para os sítios P2; P5 e P7 (Tabela 14).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Tabela 14-Resultados da aplicação do índice BMWP-ASPT nos sítios amostrais no Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

<i>Classe de qualidade</i>	<i>Sítio amostral</i>	Pontuação	Qualidade da água	Cor indicativa
I	P1	6,41	Muito Boa	Verde
II	P2	5,72	Boa	Amarelo
I	P3	6,28	Muito Boa	Verde
I	P4	6,26	Muito Boa	Verde
II	P5	5,78	Boa	Amarelo
I	P6	6,22	Muito Boa	Verde
II	P7	5,50	Boa	Amarelo

Biindicadores Bentônicos

Foram encontrados organismos sensíveis, tolerantes e resistentes à poluição ao longo do gradiente de condições ecológicas nos sítios amostrais no PARNA Gandarela (Figura 19).

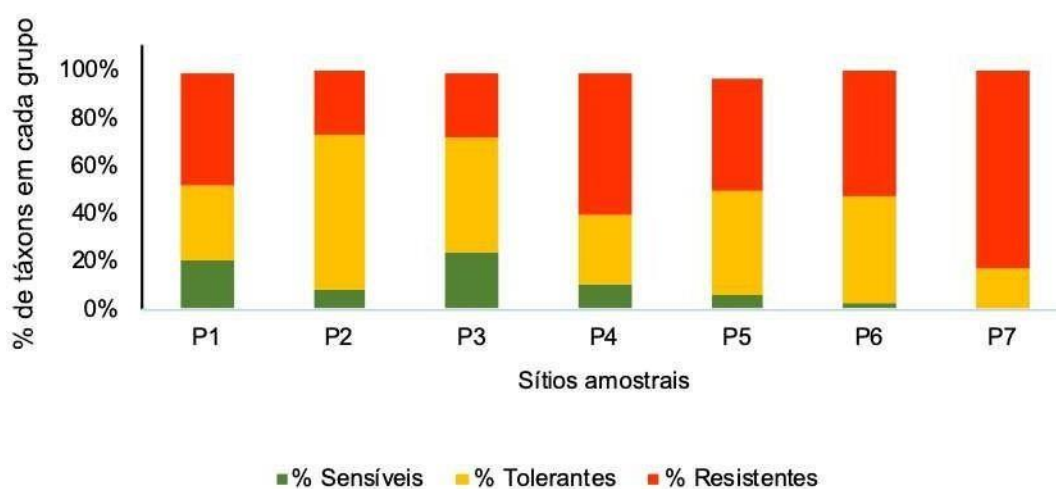


Figura 19- Classificação dos bioindicadores bentônicos classificados em sensíveis, tolerantes e resistentes à poluição nos 7 do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

Grupos Tróficos Funcionais

De acordo com a classificação dos grupos funcionais alimentares foi observado que na maioria dos sítios amostrados houve predominância de coletores-catadores (CC), seguidos de predadores, coletores-filtradores, raspadores e fragmentadores (Figura 20).

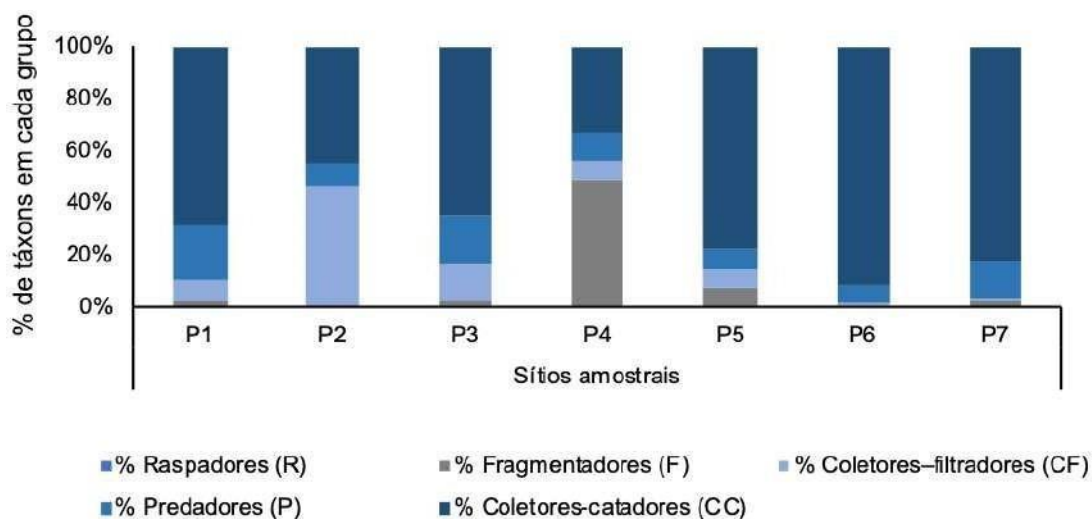


Figura 20: Avaliação dos grupos funcionais alimentares (GFA) aplicados aos macroinvertebrados bentônicos, coletados nos 7 sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

Funcionamento de ecossistemas

Houve predominância de fragmentadores sobre coletores-filtradores e coletores-catadores ($F/CF+CC$) em relação às proporções de raspadores e coletores-filtradores sobre fragmentadores e coletores-catadores ($R+CF/F+CC$) e coletores-filtradores sobre coletores-catadores (CF/CC) (Tabela 15).

Tabela 15- Avaliação dos atributos de ecossistemas aplicados aos macroinvertebrados bentônicos coletados nos 7 sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

Atributos do ecossistema	Sítios amostrais						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
CF/CC	0,101	0,000	200,200	100,000	0,00		
F/CF+CC	1,000	500,807	201,701	902,30			
R+CF/F+CC	0,101	0,000	200,100	100,000	0,00		

Densidade de organismos

Não houve diferença significativa entre os valores de densidade de macroinvertebrados bentônicos quando comparados os substratos areia, cascalho e folhiço (Figura 21).

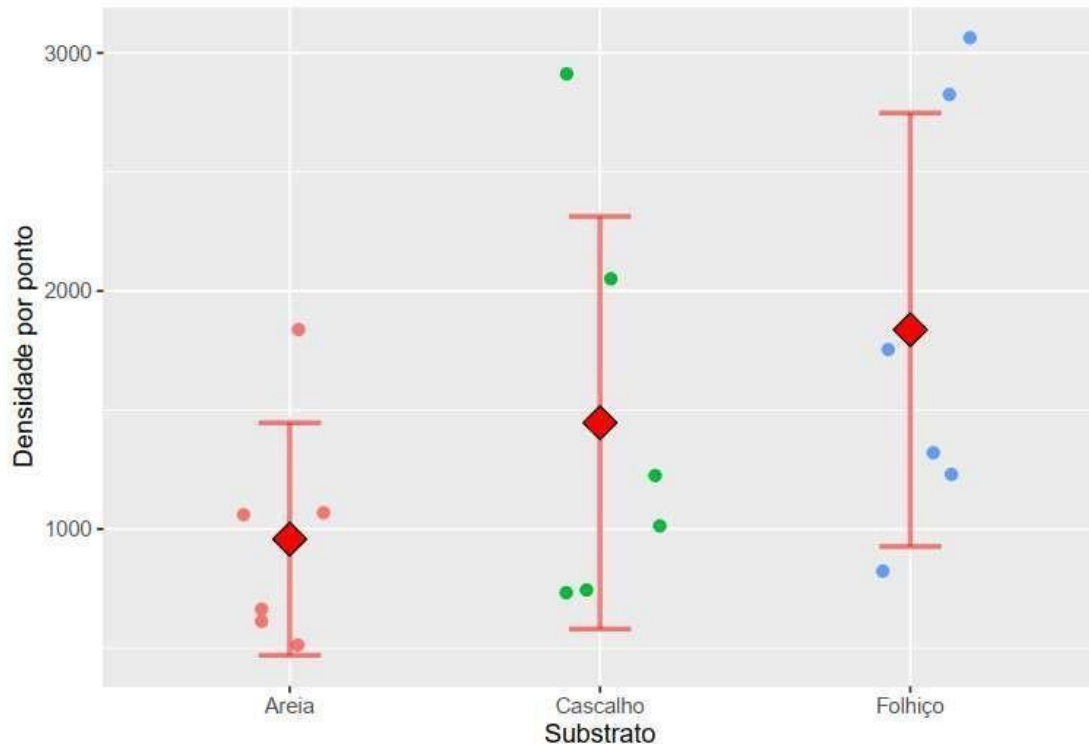


Figura 21. Densidade de indivíduos por substrato amostrado no Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

Índices Multimétricos- MMI

O cálculo do índice multimétrico de Ferreira et al. (2011) evidenciou águas em condição “muito boa” em todos os sítios amostrados. Por outro lado, os resultados do cálculo do índice multimétrico proposto por Macedo et al. (2016) classificou os sítios amostrais P2 e P3 como águas de “boa” qualidade, sítio P1 com qualidade “regular” e os sítios P4; P5; P6; e P7 como “ruim”. Os resultados da aplicação do índice multimétrico proposto por Silva et al. (2017) corroborou estas classificações (Tabela 16).

Tabela 16: Avaliação dos índices multimétricos aplicados aos macroinvertebrados bentônicos coletados nos 7 sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

<i>Índices multimétricos</i>	<i>Sítios amostrais</i>						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
MMI (Ferreira et al. 2011)	81	45	48	42	51	56	72
MMI (Macedo et al. 2016)	78	86	95	57	57	55	29
MMI (Silva et al. 2017)	65	59	61	59	37	36	17

Diversidade Beta (β)

A diversidade β entre os riachos em todo o PARNA Gandarela e seu entorno é de 0,82, sendo a substituição o componente que mais contribui para a diferença (91,9%), demonstrando que as áreas são heterogêneas e únicas na composição de espécies. A dissimilaridade entre os substratos dentro de cada riacho foi de, em média 15,13%, com a substituição contribuindo mais para a diversidade β , totalizando em média 86,03% (Tabela 16; Figura 23).

Tabela 17: Percentual de aninhamento e substituição por riacho amostrado. Análise com base nos macroinvertebrados bentônicos coletados nos sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Aninhamento (%)	6,46	39,58	17,35	7,89	19,73	4,76	1,98
Substituição (%)	93,54	60,42	82,65	92,11	80,27	95,24	98,02
Diversidade β	0,75	0,83	0,62	0,68	0,72	0,70	0,74

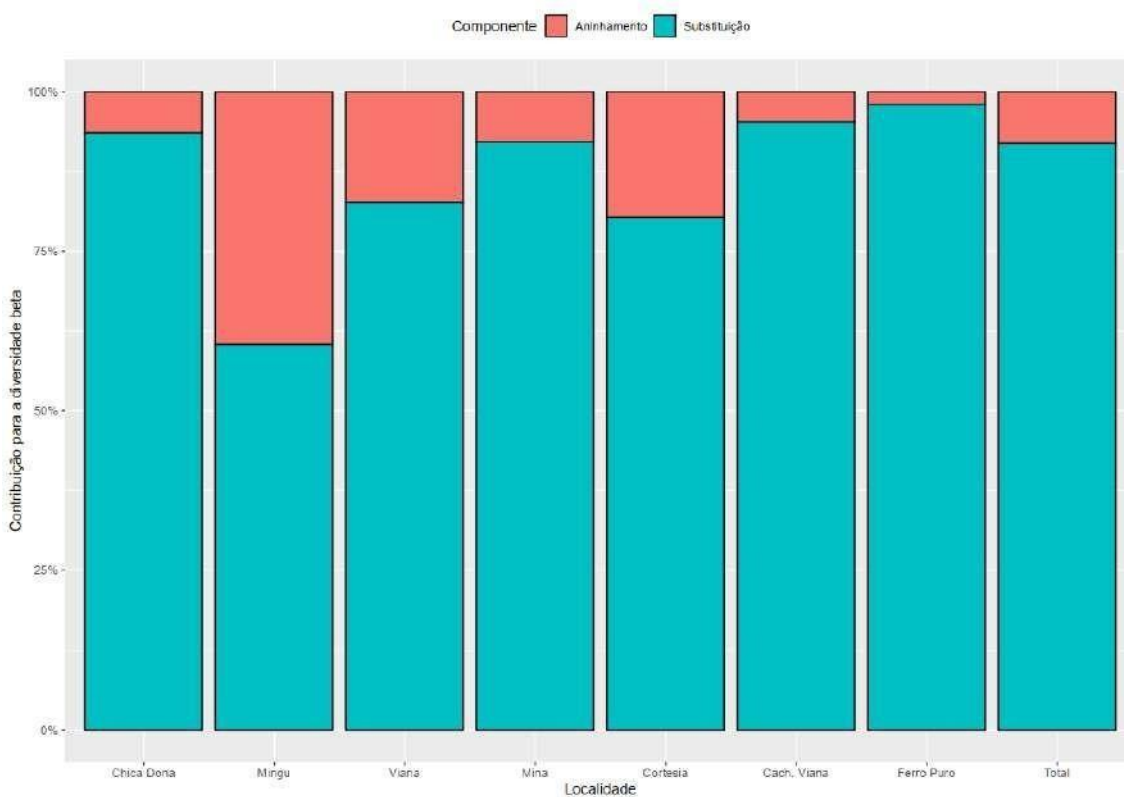


Figura23. Porcentagem da contribuição do aninhamento e da substituição para a dissimilaridade de espécies dentro de cada riacho do PARNA Gandarela.

Eco-exergia

Em relação a Eco-exergia, houve uma variação entre os substratos (Figura 24), sendo maior no folhiço que nos demais, com exceção do P7 onde o folhiço não diferiu do cascalho. O maior valor de eco-exergia foi registrado no sítio P3 (média= 22.66), seguido dos sítios P1 (média= 16.02) e P4 (média= 15.81). O menor valor foi registrado no sítio P6 (média=1.61). Por outro lado, os valores de eco-exergia específica (Figura 25) não variaram entre os sítios amostrais nem entre os tipos de substrato.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

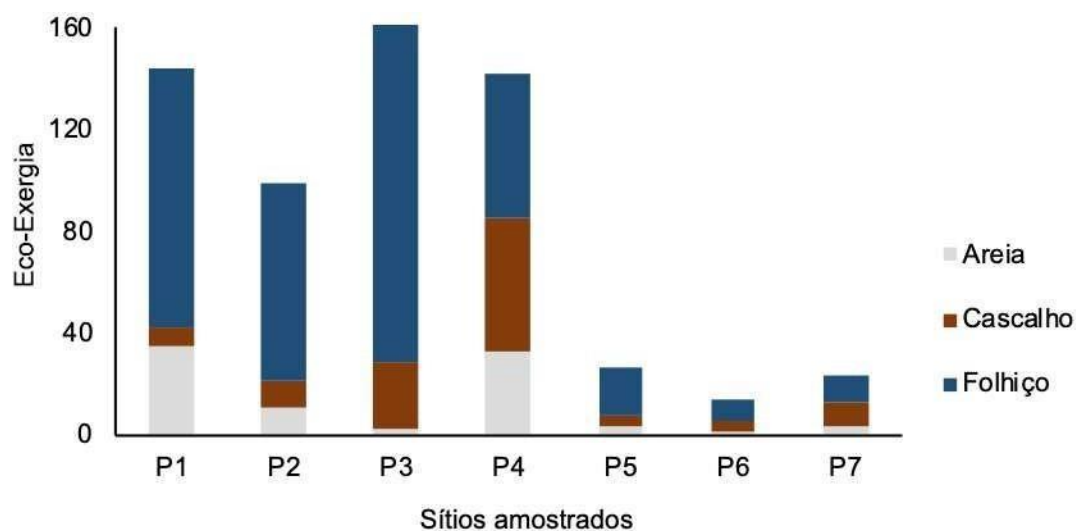


Figura24. Variação da Eco-exergia entre os substratos, ao longo do gradiente de sítios amostrais no PARNA Gandarela.

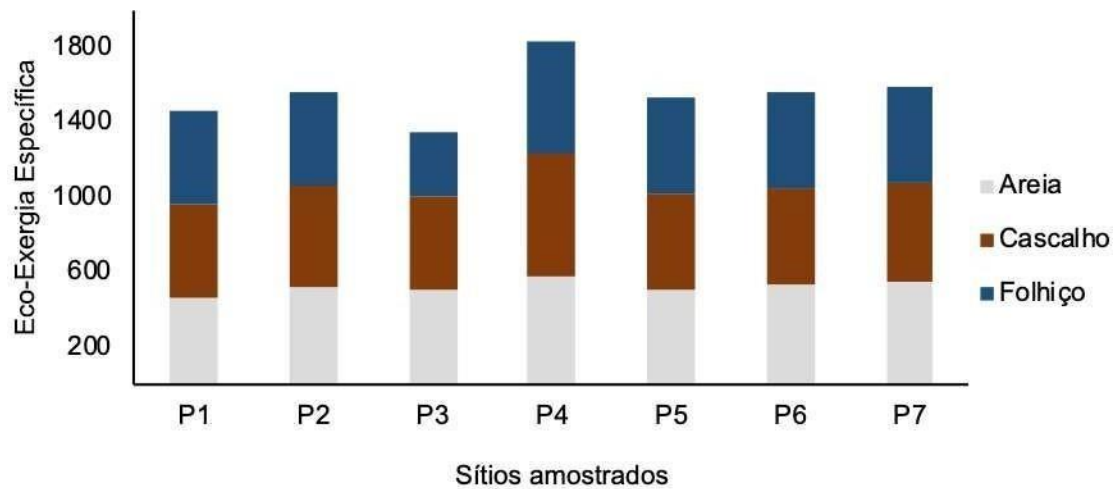


Figura25. Eco-exergia específica entre os substratos, ao longo do gradiente de sítios amostrais no PARNA Gandarela.

Capítulo 5

Discussão

Aplicação de um protocolo de avaliação ecológica rápida da integridade de zonas ripárias e diversidade de habitats físicos

Ecossistemas aquáticos em condições de referência são aqueles com pouca ou mínima alteração por atividades humanas em uma determinada região, em condição de mínimo distúrbio (STODDARD et al., 2006). A definição desses ecossistemas auxilia na avaliação e comparação a outros ecossistemas (sítios teste) em estudos de avaliação ecológica, programas de monitoramento ambiental, buscando enquadramentos em metas de qualidade ambiental ("targets") em projetos de restauração de bacias hidrográficas (STODDARD et al., 2006; FEIO et al., 2013).

Os ecossistemas aquáticos no PARNA Gandarela foram classificados como riachos em condição de referência, pois obtiveram pontuação superior a 60 no Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Hábitats (RAP), alta diversidade de habitats, incluindo cobertura vegetal bem preservada, margens estáveis, com mínima alteração antrópica. Esses resultados corroboram a avaliação ecológica realizada em outra disciplina de pós-graduação em Ecologia na RPPN Santuário do Caraça (FERNANDES et al., 2022). Assim como o PARNA Gandarela e seu entorno, ambas as unidades de conservação são dos últimos locais que preservam ecossistemas aquáticos com águas de qualidade especial na porção Sul da Serra do Espinhaço (FERNANDES et al., 2022; ROSA & MAGALHÃES JÚNIOR, 2019).

Os resultados da caracterização física do hábitat evidenciaram que a região possui riachos pequenos (até 6 metros de largura), conforme classificação de Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008). Houve também a caracterização de grande mudança na profundidade sazonal dos riachos amostrados, podendo chegar a até 2 metros de altura.

CAPÍTULO 5. DISCUSSÃO

Em um parque aberto à visitação em todas as épocas do ano, como o PARNA Gandarela, é importante considerar estas variações na estruturação local, com o intuito de reduzir riscos de acidentes com banhistas e visitantes.

A variação na composição do substrato de fundo entre os locais deve-se, principalmente, a diferenças na velocidade do fluxo d'água (FAGUNDES et al., 2021). Em geral, quando o fundo é composto predominantemente por rochas e matacões, é um indicativo de fluxos mais velozes, com maior capacidade física em transportar sedimentos de pequeno tamanho como silte, argila, areia e cascalho que se depositam em áreas de remanso e riachos mais lentos, a jusante (SANTOS et al., 2020; KEMP & KATOPODIS, 2017). Entretanto, mudanças na composição do fundo podem ser indicativas de assoreamento nas margens ou impactos a montante dos trechos. Especialmente no caso do PARNA Gandarela, as atividades extrativistas de mineração no seu entorno podem vir a aumentar a entrada de sedimentos nos riachos, seja por aporte direto ou impacto indireto (PONTES et al., 2013; LOPES et al., 2014).

Todo o conjunto do PARNA Gandarela pertence a um grande aquífero que pode armazenar até 1,6 trilhões de metros cúbicos de água por ano que contribui para o abastecimento de mais de cinco cidades na região, incluindo Belo Horizonte, devido a retenção e lenta liberação da água ao longo do ano (FRANCO et al., 2017; FONSECA & VALADÃO, 2017). Isso se deve à grande geodiversidade local, constituída por uma série de características únicas, associadas à geomorfologia ferruginosa que proporciona à serra do Gandarela grande capacidade de filtração e armazenamento de água. Nesse sentido, pode-se considerar o parque como um ecossistema de equilíbrio frágil que pode ser profundamente impactado de maneira irreversível por ações antrópicas (SANTOS et al., 2018).

Para o gradiente de elevação, pontos mais baixos coincidem com locais mais urbanizados. Conseqüentemente, estes também foram locais registrados como impactados e cujas águas não são recomendadas para uso humano. Isso salienta a necessidade de se preservar a vegetação e de implementar políticas públicas para conservação e melhora da qualidade das águas e demais atributos naturais que contribuem para manutenção desses riachos dentro e fora do parque, incluindo a limitação ou regulação do uso antrópico próximo a esses riachos, já que a intensificação do uso antrópico pode prejudicar os corpos d'água e conseqüentemente seus usos futuros.

Mensuração de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água

Idealmente, a gestão de recursos hídricos deve ser descentralizada, com participação tanto do poder público quanto da população (MOTA, 2012). Nesse contexto o IQA é instrumento para diagnosticar a qualidade de água, facilitando tomada de decisões e estabelecimento dos usos de recursos hídricos. Entretanto, o IQA é uma ferramenta com contribuições de variáveis primárias (parâmetros), que determina a qualidade das águas por alteração de todos os parâmetros associados, podendo ser pouco influenciado pela alteração de um único parâmetro. Assim, é imprescindível que haja uma interpretação apurada de cada um dos parâmetros, além da categorização de seu índice de qualidade calculado, quando o contexto da avaliação envolve a conservação de ecossistemas e suas bacias hidrográficas.

De modo geral, os valores do Índice de Qualidade de Água (IQA) nos sítios amostrais evidenciaram águas de boa qualidade, com exceção do trecho do Rio das Velhas em Rio Acima (49,7). No entanto, foram identificados valores que violam a Resolução Conama 357/2005 para os parâmetros Nitrogênio Total (11.700 mg/L e 6.008 mg/L) e Coliformes Fecais (80 UFC/100mL e 4480 UFC/100mL) no Córrego Cortesia e Cachoeira Samsa, respectivamente. Por outro lado, no Rio das Velhas o resultado do IQA foi “Regular” devido aos elevados teores de coliformes termotolerantes (5440 UFC/100mL).

Ainda que o fósforo e o nitrogênio ocorram naturalmente nos ambientes aquáticos, estes podem também ser associados a contaminação pelo lançamento de efluente doméstico (VON SPERLING, 2005). Apesar de não ter sido observado nesses pontos amostrais, o aporte desses nutrientes promove a eutrofização e a ocorrência de microalgas e cianobactérias com potencial nocivo aos seres humanos, ocasionando em alterações drásticas nas características da água, impossibilitando sua utilização e dificultando seu tratamento (MOTA, 2012). De modo similar, os coliformes também ocorrem pela contaminação oriunda de efluentes domésticos. Os teores de Fósforo Totale Nitrogênio Total mensurados na Cachoeira Samsa e no trecho do Rio das Velhas,ultrapassaram em 13 e 27 vezes respectivamente os limites para Classe 1 da ResoluçãoCONAMA 357/05. A presença de Coliformes Fecais em altas concentrações (limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros) pode representar risco de transmissão de doenças cólera, febre tifoide e disenteria, o que inviabiliza sua utilização para contato primário (banho ou ingestão).

Levantamento rápido da biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água

Os riachos amostrados no PARNA Gandarela e seu entorno podem ser classificados como em condições de referência, uma vez que foram amostrados organismos sensíveis, tolerantes e resistentes à poluição em todos os sítios amostrados.

Estudos com macroinvertebrados bentônicos em diferentes substratos apontam maior riqueza e abundância de organismos em substratos de folhiço em relação aos de areia e cascalho, confirmando o que já vem sendo observado para outros locais (SOUZA et al., 2020; LIGEIRO et al., 2021). Isso deve-se à estabilidade de substratos que oferecem abrigo e alimento, coletando partículas orgânicas finas, sendo habitat ideal para organismos detritívoros e fragmentadores (MERRITT et al., 2014). Os resultados observados neste estudo demonstram uma maior abundância e riqueza de macroinvertebrados que se alimentam por partículas de detritos que são depositadas nos sedimentos, incluindo algas, bactérias e/ou partículas de detritos em áreas deposicionais. Observamos também muitos predadores (p.ex. Odonata, Heteroptera) que capturam e/ou ingerem fluidos corporais de animais vivos.

Em relação à avaliação do índice multimétrico (MMI) estabelecido por Ferreira et al. (2011), que utiliza seis métricas biológicas, a qualidade das águas em sete riachos estudados no PARNA Gandarela e seu entorno teve classificação “muito boa” Diferentemente dos resultados obtidos por meio dos índices multimétricos definidos por Macedo et al. (2016) e Silva et al. (2017) que abrangem respectivamente quatro e sete métricas, evidenciaram variações na qualidade ecológica dos riachos analisados.

Para a análise de diversidade β , os resultados evidenciam que a heterogeneidade de substratos é importante para manter a riqueza de espécies nos riachos, uma vez que o componente principal da diversidade β entre os riachos e os substratos foi a substituição de espécies. Ou seja, a cada novo sítio amostrado, as variações são causadas pelo encontro de novas espécies, reforçando a importância de conservar o conjunto de riachos e evitar a homogeneização dos habitats para manter a diversidade taxonômica de organismos (HERMOSO et al., 2012) do PARNA Gandarela e de seu entorno.

Em relação aos resultados de eco-exergia e eco-exergia específica, ambos estão de acordo com o esperado para riachos de referência, conforme previsto por Linares et al. (2018a, 2018b, 2019). Os altos valores de eco-exergia encontrados, especialmente nos 5 sítios amostrais com maior pontuação na avaliação de habitat refletem a condição de conservação ambiental desses ecossistemas. Esses resultados indicam alta capacidade

dos ecossistemas em manter fluxos de energia com o meio externo, sua maior diversidade e redundância funcional, bem como alta complexidade (Salas et al., 2005). Uma vez que a eco-exergia reflete o grau de entropia do sistema, podemos inferir que os sítios P1 a P5 possuem baixa entropia, condição relacionada a ambientes pouco perturbados (JØRGENSEN & NORS NIELSEN, 2007; LINARES et al., 2018a).

Além disso, os valores mais altos de eco-exergia encontrados nos bancos de folha em detrimento dos demais substratos ressaltam a importância destes locais como ilhas de biodiversidade (CALLISTO et al., 2021; LINARES et al., 2018b). Uma vez que estes riachos apresentam alta cobertura de dossel, a perda de vegetação ripária poderia ocasionar a diminuição da entrada de matéria orgânica, principal fonte de entrada de energia no sistema e, conseqüentemente, a redução dos bancos de folhas submersos.

Por fim, os resultados ilustram que mesmo riachos com menor eco-exergia, apresentam valores elevados de eco-exergia específica, quando em condição de referência. Isto indica uma alta capacidade dos sistemas em utilizar fontes externas de energia e armazená-las na forma de biomassa secundária.

Bens e serviços ecossistêmicos das águas no PARNAGandarela e seus riachos

Os serviços ecossistêmicos associados ao Parque podem ser abordados dentro das categorias de: 1) Provisão: a disponibilidade de água, conseguinte produção de alimento e matéria-prima. No que se refere a 2) Regulação: estoque de carbono, regulação de gases do efeito estufa (GEE), polinização, controle de erosão, retenção de sedimentos, regulação hídrica, retenção de nutrientes e regulação de distúrbios. Além disso, os recursos genéticos, através da biodiversidade e controle biológico (diversificação de predadores, germinação e estabelecimento de plantas exóticas e nativas). Na categoria de 3) Serviços de Suporte: incluem a ciclagem de nutrientes, formação de solo, e dispersão de sementes. E por último a 4) Cultural: estética e recreação, através das lindas paisagens e seus rios e cachoeiras (sendo as mais famosas a do Índio e a do Viana – Figura 26).



Figura 26. Cachoeiras do Índio e do Viana.

Atividades humanas locais que impactam a provisão de serviços ecossistêmicos

A demarcação de terras protegidas dentro do Parque Nacional do Gandarela assegura que os diversos ambientes representantes do quadrilátero ferrífero possam ser protegidos. O Quadrilátero Ferrífero, devido a sua riqueza em minério de ferro e outros minerais (DESCHAMPS & MATSCHULLAT, 2007), vem sendo alvo de diversas ações antrópicas que geram profundas alterações nos ecossistemas. Nas regiões adjacentes ao Parque ocorreram dois grandes desastres ambientais em um período muito curto, sendo na Barragem de Fundão, em Mariana em 2015 e da Mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho em 2019, cujos danos ao ambiente e às pessoas ainda pode ser visto até hoje (OWEN et al., 2020).

Para além das atividades de alto impacto, as atividades individuais também geram alterações. Nos locais mais visitados por turistas é possível se ver pequenas fogueiras, que são proibidas e podem gerar grandes incêndios, principalmente nas estações secas, além de grande quantidade de lixo espalhado pelas áreas adjacentes e inclusive dentro dos rios (Figura 27) trazendo riscos à outras pessoas e à fauna e flora locais.



Figura 27. Impactos antrópicos de nível individual, mas que podem gerar problemas para fauna e flora. A) Fogueira improvisada, B) Lixo recolhido e acumulado ao redor de uma cachoeira e C) caco de vidro em área de uso comum. Imagens: André A. Paz

O acesso ao meio ambiente saudável e ecologicamente equilibrado é um direito preconizado no art. 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1988). Além disso, a Organização das Nações Unidas também prevê como direito humano ter um ambiente limpo, saudável e sustentável (ONU, 2022). Para que esses direitos possam ser garantidos, é necessário que diversas das funções dos ecossistemas sejam mantidas, através de políticas públicas.

Recomendações

Para que a pauta de conservação ambiental esteja alinhada à agenda política nos níveis federal, estadual e municipal, é necessário que haja a mobilização e engajamento públicos, uma vez que “a política é a socialização do conflito” (SCHATTSCHEIDER, 1960). Assim, é necessário um largo mapeamento das partes interessadas em nível regional para compreender as diferentes visões e narrativas referentes às medidas de conservação da biodiversidade, colaborando para um arranjo institucional e de governança satisfatório. No caso do PARNA Gandarela, todos os oito municípios de abrangência possuem um Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental (CODEMA), cujas deliberações também perpassam por decisões acerca de um Fundo Municipal Ambiental (IBGE, 2022). Alguns destes municípios também estão filiados ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH Rio das Velhas), que também mantém parcerias com outros órgãos para deliberar sobre as questões hídricas.

É importante ressaltar que mecanismos de descentralização e gestão participativa também podem reforçar o papel dos grupos de maior capital social frente à outras partes interessadas com poucas oportunidades de conhecimento e recursos para defender suas posições (ELOY et al., 2013). Portanto, uma implementação de gestão participativa pela gestão do Parque Nacional do Gandarela deverá ser desenhada de modo a ser efetivo para todos os agentes interessados.

Percepção Socioambiental No Parna Gandarela e Serviços Ecossistêmicos

Temática socioambiental no PARNA Gandarela

O Parque Nacional da Serra do Gandarela, criado por decreto em 13 de outubro de 2014, tem como objetivo geral: garantir a preservação de amostras do patrimônio biológico, geológico, espeleológico e hidrológico associado às formações de canga do Quadrilátero Ferrífero, incluindo os campos rupestres e os remanescentes de floresta semi-decidual, as áreas de recarga de aquíferos e o conjunto cênico constituído por serras, platôs, vegetação natural, rios e cachoeiras (BRASIL, 2014)

Ainda que o parque beneficie toda a população do entorno com valores diretos (produtos obtidos no local, como lenha, vegetais, carne, medicamentos e materiais de construção) e valores indiretos, fornecidos por processos ambientais e serviços oriundos do ecossistema local (ar puro, água limpa, qualidade do solo, espécies raras, paisagens, recreação, pesquisa científica, controle climático etc.) (PRIMACK & RODRIGUES, 2001), o reconhecimento de tais bens e serviços ecossistêmicos por parte da população não acadêmica não é espontâneo. Embora os benefícios oriundos da criação de uma unidade de conservação sejam públicos e difusos, muitas vezes o que é mais evidenciado no processo de sua criação são os conflitos com interesses individuais, relacionados à exploração de recursos locais, geralmente moldada por costumes e tradições que refletem a cultura e história de uma população. Assim, muitas vezes a criação de unidades que não consideram a relação população-UC não é suficiente para garantir a conservação, de modo que a participação das comunidades próximas à área é uma importante ferramenta para o alcance dos objetivos da unidade (PRADEICZUK, RENK & DANIELI, 2015). O envolvimento comunitário tem o potencial de mitigar discórdias oriundas da insatisfação das comunidades em decorrência de proibições e perda de acesso ao espaço (DRUMOND, 2002), e também de ampliar os recursos humanos atuantes em defesa da conservação da área, como é observado em locais onde a própria comunidade se mobiliza para denunciar condutas indesejadas dentro da unidade

CAPÍTULO 5. DISCUSSÃO

de conservação, sejam elas a caça, o uso do fogo, a retirada de vegetais etc. O Refúgio de Vida Silvestre Serra do Giz (Pernambuco), por exemplo, apresenta um interessante caso de participação comunitária na proteção de recursos locais, já que membros da comunidade assumiram a responsabilidade em orientar turistas e pesquisadores dentro da reserva, assim como de observar e denunciar a presença de caçadores de fora da região (VERAS et al., 2022).

Estudos de percepção ambiental constituem ferramentas valiosas para a gestão de unidades de conservação, já que a ampliação da consciência da população do entorno de UCs acerca de processos ecológicos e valores ecossistêmicos só é possível através de planejamentos e gestão participativa de projetos de educação ambiental, administração de conflitos e políticas ambientais que levem em conta a relação homem-natureza estabelecida pela população local, bem como seus conhecimentos, tradições, valores, comportamentos e expectativas (FERREIRA & PROFICE, 2019).

Durante o período de realização desta disciplina ofertada pela UFMG no Parque Nacional da Serra do Gandarela (22 a 28 de agosto de 2022), houve a oportunidade de conversar, ainda que informalmente, com algumas pessoas entre moradores do entorno do parque, moradores da área urbana do município de Rio Acima e turistas frequentadores do parque. Embora essas conversas não constituam uma pesquisa de percepção formal, preliminarmente foram observados pontos comuns nas falas dos diferentes atores envolvidos com o parque e que são valiosos.

Criação do parque

Foi apontada notável mobilização e participação da população do entorno do parque durante seu período de criação, o que parece se refletir no apoio de grande parte dos moradores à criação da UC. A perda de áreas para o parque é um ponto recorrente na conversa com moradores do entorno, porém também é recorrente a percepção de que essa perda foi compensada por diálogo e negociação, assim como por benefícios decorrentes da criação do parque, que são refletidos na valorização da propriedade particular dos moradores, como a conservação de nascentes.

Consequências da criação da UC

São notórios os benefícios ambientais, sendo os mais comentados a proteção de nascentes e o impedimento do avanço desenfreado da mineração. Também foram relatadas a diminuição do uso do fogo de maneira irresponsável, a interrupção e diminuição da caça e a diminuição do uso de veículos de trilha que alargam as passagens. Foi relatado o aumento do número de turistas, sobretudo de pessoas que não

CAPÍTULO 5. DISCUSSÃO

moram no município. A criação do parque foi percebida também como uma ferramenta para aumentar a força e a visibilidade da causa ambiental. Sob um outro ponto de vista, a oficialização da área como UC foi vista como um fator de aumento da proteção e segurança dos usuários.

Problemas locais

Dentre os aspectos apontados como problemas locais, o mais recorrente foi a má qualidade das estradas, assim como a inexistência de transporte coletivo para levar a população de Rio Acima aos atrativos do parque. Também foram relatados o acesso precário à internet, a falta de sinalização nas entradas do parque, a inexistência de um portal ou construção demarcando as entradas, de uma estrutura que mostre a história local, com fotos, mapas e nome do parque. Foi criticada a ausência de banheiros ou de alguma área onde os visitantes poderiam usar água para lavar as mãos ou beber e a ausência de definição de trilhas e sua sinalização. A inexistência de delimitação visível do parque foi apontada como problema para turistas e para o controle do gado do lado externo da UC. Além disso, ainda é comum o uso do fogo por parte da comunidade para preparo de pasto para o gado, o que acaba levando a incêndios descontrolados que muitas vezes podem atingir a área protegida.

A percepção em relação à atividade de mineradoras tem duas vias. Se por um lado, é apontada por alguns como empecilho à conservação local, por outro lado, as melhorias nas estradas realizadas por essas mineradoras são percebidas pela população, que as atribuem as melhorias em sua qualidade de vida. As opiniões acerca das diferentes companhias mineradoras na região são heterogêneas.

A falta de conscientização por parte dos frequentadores do parque, que deixam muito lixo nas cachoeiras, fazem barulho e churrasco é comum em todas as falas, embora seja recorrente o relato de que esse problema vem diminuindo ao longo dos anos.

A caça de animais selvagens é apontada por alguns como ameaça ainda presente à sobrevivência de animais sob risco de extinção. A relação entre humanos e animais considerados perigosos aos humanos e aos animais domésticos é por vezes conflituosa, o que incita a demanda por diálogos e negociações entre moradores e funcionários/gestores.

Em geral, os problemas locais são interpretados como consequência da falta de conscientização ambiental. Parece que os nativos tendem a perceber que visitantes não nativos são os maiores responsáveis pela degradação do local, enquanto visitantes não nativos tendem a considerar que a população próxima ao parque não o valoriza, de modo que, quando o frequenta, tende a degradá-lo.

Capítulo 6

Conclusões

Águas de classe especial, abundantes e disponíveis no PARNA Gandarela são um caso raro na Região Metropolitana de uma capital com mais de 5 milhões de habitantes, como Belo Horizonte. Os dados levantados neste estudo podem subsidiar o estabelecimento de um Programa Contínuo de Biomonitoramento de Qualidade de Água e Bioindicadores Bentônicos dos ecossistemas aquáticos no PARNA Gandarela. Em paralelo, atividades de educação ambiental poderão considerar metodologias de Monitoramento Participativo (FRANÇA & CALLISTO, 2019) e ciência cidadã fomentando atividades de conscientização ambiental, valorização de bens e serviços ecossistêmicos, utilizando a vida aquática como modelo de trabalho.

O Índice de Qualidade da Água é uma ótima ferramenta para o monitoramento das características das águas em bacias hidrográficas urbanas e peri-urbanas, pois possibilita uma fácil interpretação de seus resultados. Os resultados obtidos no PARNA Gandarela evidenciam que os córregos e cachoeiras possuem águas de ótima qualidade (Classe 1, Conama 357/05), oferecendo condições para uso recreacional por visitantes, conservação da vida aquática, sem riscos à saúde humana. O sítio amostral no Rio das Velhas evidenciou águas contaminadas por esgotos não tratados, lançados diretamente em suas águas. Os valores de Coliformes Fecais violam o limite da classe 2 da Resolução Conama 357/2005, evidenciando enquadramento na Classe 3, quando deve ser evitado contato direto com a água e seu tratamento avançado em caso de abastecimento público.

O PARNA Gandarela foi criado a partir da mobilização de diferentes atores sociais, que trouxeram a importância ecológica regional em local estratégico para a conservação da biodiversidade e manutenção dos bens e serviços ecossistêmicos. Destacam-se entre eles a importância no ciclo hidrológico, como recarga de aquíferos e lençóis freáticos, bem como a produção de água para seu entorno, principalmente a região metropolitana de Belo Horizonte. O estoque de carbono, tanto em áreas de altitude quanto nas florestas e áreas de cerrado, é essencial, principalmente no cenário atual de mudanças climáticas.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

Por fim, a biodiversidade local e as áreas de beleza cênica associadas às serras e vales, têm seu valor intrínseco e devem permanecer protegidos. Estes ainda encontram-se ameaçados pelos impactos de atividades minerárias próximas ao Parque, e para traçar estratégias de conservação é necessário compreender melhor os tipos de bens e serviços ecossistêmicos desta Unidade de Conservação.

O devido mapeamento de partes interessadas locais, suas percepções socioambientais, e interesses relacionados às atividades de conservação de bens e serviços ecossistêmicos é essencial para priorizar estratégias de engajamento, compartilhamento de informações e planos de ação visando a manutenção do Parque. Além disso, a gerência do Parque e os governos locais também podem se utilizar de programas tais como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como maneiras de assegurar a conservação e regeneração florestal, proteção dos recursos hídricos e da biodiversidade em áreas privadas próximas ao Parque. É um tipo de incentivo satisfatório para conservação de bens e serviços ecossistêmicos, mas é importante ressaltar que há necessidade de parcerias e engajamento das partes interessadas, bem como vontade política nos municípios de abrangência.

Visto que as análises apresentaram bons resultados para as águas avaliadas, recomenda-se o uso destas como uma forma de monitoramento frequente dos ambientes aquáticos do parque. Observa-se também que o Córrego adjacente à mineração Ferro Puro (P7), utilizado como barramento sofreu alterações suficientes a ponto de cair de classificação no índice MMI para “ruim”. Por ser um curso d’água nos limites do PARNA, mas também limítrofe à estrada de escoamento de minério, recomendamos que seja proposta a revitalização deste curso d’água para condições de referência, reduzindo assim os impactos que vêm sendo causados. Outro ponto importante é o fato de que águas usadas para fins turístico-recreacionais, como é o caso da cachoeira Chica Dona (P1), de propriedade da Mineração Ferro Puro, apresentaram ótimos resultados no que diz respeito à qualidade de suas águas, indicando uma possível diferença do impacto que atividades humanas como o turismo e a mineração podem ter sobre a biodiversidade local.

Vale ressaltar que o estudo foi produzido com análises baseadas somente na estação seca do ano e se faz necessária a replicação desses métodos durante o período chuvoso, visto que as características físicas e químicas e de diversidade de espécies dos cursos d’água são diferentes durante o período chuvoso.

Capítulo 7

Referências

AGRA, J.U.M., LIGEIRO, R., MACEDO, D.R., HUGHES, R.M, CALLISTO, M. Ecoregions and stream types help us understand ecological variability in Neotropical reference streams. **Marine and Freshwater Research**, 70(4), 594-602, 2018. <https://doi.org/10.1071/MF18309>

ALVES, N. Conheça os objetivos do Parque Gandarela. **Instituto Prístino**, 2022. Disponível em: <https://institutopristino.org.br/conheca-os-objetivos-do-parna-gandarela/>. Acesso em: 22 set. 2022.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 21ed. Washington, 2005.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Indicadores de qualidade** - índice de qualidade das águas (IQA). Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 13 de setembro de 2022.

BARBOUR, M. T., GERRITSEN, J., SNYDER, B. & STRIBLING, J. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. **USEPA**, 339, 1–340, 1999.

BASELGA, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. **Global Ecology and Biogeography**, 19(1), 134–143, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>

BASELGA, A. The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. **Global Ecology and Biogeography**, 21(12), 1223–1232, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00756.x>

BASELGA, A., & ORME, C. D. L. Betapart: An R package for the study of beta diversity. **Methods in Ecology and Evolution**, 3(5), 808–812, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00224.x>

BIZZO, M. R. O., MENEZES, J., ANDRADE, S. F. Protocolos de avaliação rápida

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS

de rios (PAR). **Caderno de estudos geoambientais**, Rio de Janeiro, 4(1), 5–13, 2014.

BRASIL. **Decreto Federal Nº 84.017**, de 21 de setembro de 1979. Aprova o regulamento dos parques nacionais brasileiros. 1–8, 1979.

BRASIL. **Decreto Federal Nº 4.340**, de 22 de Agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4340.htm. Acesso em: 23 set. 2022.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 23 set. 2022.

BRASIL. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.compe.org.br/estadual/deliberacoes/conjunta/1-2008.pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2022.

BRASIL. **Decreto de 13 de outubro de 2014**. Cria o Parque Nacional da Serra do Gandarela, localizado nos Municípios de Nova Lima, Raposos, Caeté, Santa Bárbara, Mariana, Ouro Preto, Itabirito e Rio Acima, Estado de Minas Gerais. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Seção 1, p.1, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

BRASIL. **LEI Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm. Acesso em 19 de setembro de 2022.

BRASIL. **Novo código Florestal, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS

Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em 19 de setembro de 2022.

BRAUMAN, K.A., DAILY, G.C., DUARTE, T.K., MOONEY, H.A. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 32, p. 67-98, 2007. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>

CALLISTO, M., FERREIRA, W., MORENO, P., GOULART, M., PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002. ISSN: 2179-975X.

CALLISTO, M., MACEDO, D.R., ALVES, C.B., GOLGHER, A B., AGRA, J.U., MAGALHÃES, S. & COSTA, I.S. Avaliação Ecológica Rápida de qualidade de água no rio das Velhas. **Revista Espinhaço**, 19, 1-23, 2021.

CALLISTO, M., MUGNAI, R., CASTRO, D. M. P., & LINARES, M. S. Sampling Methods for Aquatic Insects. **Measuring Arthropod Biodiversity**, 523–543, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53226-0_20

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IQA – Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo: CETESB. Disponível em: [Apêndice-D-Índices-de-Qualidade-das-Águas.pdf](#) (cetesb.sp.gov.br). Acesso em: 13 de setembro de 2022.

CRPM. **Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil** - Ministério de Minas e Energia, 2002. Disponível em www.cprm.gov.br Acesso em: 13 de setembro de 2022.

CUMMINS, K. W., MERRITT, R. W., & ANDRADE, P. C. N. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, 40(1), 69–89, 2005. <https://doi.org/10.1080/01650520400025720>

DE SOUZA, I. H., PALÁCIO, H. D. A. Q., DE ANDRADE, E. M., DOS SANTOS TEIXEIRA, A., & DE ARAÚJO CRISÓSTOMO, L. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, 36(2), 135-142, 2005.

DESCHAMPS, E.; MATSCHULLAT, J. **Arsênio antropogênico e natural. Um estudo em regiões do quadrilátero ferrífero**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2007.

DNPM - **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Sumário que mostra o comportamento do mercado de bens minerais selecionados. 2011

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. Biodiversidade em Minas Gerais: Um Atlas para sua Conservação. Belo Horizonte: **Fundação Biodiversitas**, 1-222, 2005.

DRUMOND, Maria Auxiliadora. Participação Comunitária no Manejo de Unidades de Conservação: **Manual de Técnicas e Ferramentas**. Belo Horizonte, 2002.

DUDGEON, D., ARTHINGTON, A. H., GESSNER, M. O., KAWABATA, Z. I., KNOWLER, D. J., LÉVÊQUE, C., NAIMAN, R. J., PRIEUR-RICHARD, A. H., SOTO, D., STIASSNY, M. L. J., & SULLIVAN, C. A. Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, 81(2), 163–182, 2006. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>

ELOY, L.; COUDEL, E.; TONI, F. Implementando Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil: caminhos para uma reflexão crítica. **Sustentabilidade em Debate**, 4(1), 21-42, 2013.

FAGUNDES, H.D.O., FAN, F.M., PAIVA, R.C.D., SIQUEIRA, V.A., BUARQUE, D.C., KORNOWSKI, L.W., COLLISCHONN, W. Sediment flows in South America supported by daily hydrologic-hydrodynamic modeling. **Water Resources Research**, v. 57, n. 2, 2021. <https://doi.org/10.1029/2020WR027884>

FALKENMARK, Malin; WANG-ERLANDSSON, Lan; ROCKSTRÖM, Johan. Understanding of water resilience in the Anthropocene. **Journal of Hydrology X**, v. 2, p. 100009, 2019. FEIO, M. J., FERREIRA, W. R., MACEDO, D. R., ELLER, A. P., ALVES, C. B. M., FRANÇA, J. S., & CALLISTO, M. Defining and testing targets for the recovery of tropical streams based on macroinvertebrate communities and abiotic conditions. **River research and applications**, v. 31, n. 1, p. 70-84, 2015. <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, & YATES, A.G. The biological assessment and rehabilitation of the world's rivers: an overview. **Water**, v. 13, p. 371, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13030371>

FERNANDES, A., DOLABELA, B., SENNA, N., MARQUES, R., AMARAL, P.H.M., CALLISTO, M. Avaliação ecológica rápida de qualidade de água do Rio Caraça como um ecossistema em condições de referência. **Revista Espinhaço**, 1-16, 2022. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.6564170>.

FERREIRA, D. J.; PROFICE, C. C. Percepção Ambiental de Unidades de Conservação: O Olhar da Comunidade Rural do Barroco no Entorno do Parque Estadual da Serra do Conduru – BA. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, 8(3), 179-195, 2019.

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS

FERREIRA, W. R., PAIVA, L., & CALLISTO, M. Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed. **Brazilian Journal of Biology**, 71(1), 15–25, 2011.

FONSECA, C.O. & VALADÃO, R.C. Dinâmica espacial da Serra do Gandarela e entorno: uma análise a partir de representações choremáticas. **Sociedade & Natureza**.29(2),309-321, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v29n2-2017-9>.

FRANÇA, J. S., & CALLISTO, M. **Monitoramento participativo de rios urbanos por estudantes-cientistas**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17648/ufmg-monitoramento2019>. Acesso em: 22 de setembro de 2022. Doi: 10.17648/ufmg-monitoramento2019

FRANCO, F.B., PORTILHO, S., SOUZA, J.B. Avaliação do comportamento hidrogeológico das formações geológicas em uma vertente da Serra do Gandarela: Rio Acima, MG. **E-Xacta**, v. 10(1),1, 2017. <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v10i1.1780>.

GLEESON, Tom et al. Global groundwater sustainability, resources and systems in the Anthropocene. **Annual review of earth and planetary sciences**, 48, 431-463, 2020.

GRIZZETTI, B., LANZANOVA, D., LIQUETE, C., REYNAUD, A., & CARDOSO, A. C. Assessing water ecosystem services for water resource management. **Environmental Science and Policy**, 61, 194–203, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>

HAMADA, N., THORP, J. H., & ROGERS, D. C. **Keys to Neotropical Hexapoda**. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. 3(4), 1-900, 2018.

HANNAFORD, M. J., BARBOUR, M. T., RESH, V. H. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **Journal of The North American Benthological Society**, v. 16, n. 4, p. 853-860, 1997. <https://doi.org/10.2307/1468176>

HERMOSO, V., CLAVERO, M., & KENNARD, M. J. Determinants of fine-scale homogenization and differentiation of native freshwater fish faunas in a Mediterranean Basin: Implications for conservation. **Diversity and Distributions**, 18(3), 236–247, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00828.x>

HILARIO, et al. **THE FIRST 100 IUGS GEOLOGICAL HERITAGE SITES**. International Geosciences Program. IGCP 731 (2021 – 2023) ISBN: 978-1-7923-9975-6. 2022

HUGHES, Robert M. et al. Biological assessment of western USA sandy bottom rivers based on modeling historical and current fish and macroinvertebrate data. **River Research and Applications**, 38(4), 639-656, 2022.

IBGE, 2022. **Plataforma Cidades**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 23 set. 2022.

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS

JOHNSTON, T. A., & CUNJAK, R. A. Dry mass-length relationships for benthic insects: A review with new data from Catamaran Brook, New Brunswick, Canada. **Freshwater Biology**, 41(4), 653–674, 1999. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00400.x>

JØRGENSEN, S. E., & NORS NIELSEN, S. Application of exergy as thermodynamic indicator in ecology. **Energy**, 32(5), 673–685, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.06.011>

JØRGENSEN, S. E., LADEGAARD, N., DEBELJAK, M., & MARQUES, J. C. Calculations of exergy for organisms. **Ecological Modelling**, 185(2–4), 165–175, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.11.020>

JUNQUEIRA, M. V, ALVES, K. C., PAPROCKI, H., CAMPOS, M. S., CARVALHO, M. D., MOTA, H. R., & ROLLA, M. E. Índices bióticos para avaliação de qualidade de água de rios tropicais – síntese do conhecimento e estudo de caso: Bacia do alto rio Doce. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, 49, 15–33, 2018. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820180322>

KEMP, P.S., KATOPODIS, C. Environmental flows all at sea? Charting a new course through choppy waters. **Journal of Ecohydraulics**, 2(2), 85-87, 2017. <https://doi.org/10.1080/24705357.2017.1383684>

LIGEIRO, R. ; HUGHES, R.M. ; KAUFMANN, P.R. ; HEINO, J. ; MELO, A.S. ; CALLISTO, M. Choice of field and laboratory methods affects the detection of anthropogenic disturbances using stream macroinvertebrate assemblages. **Ecological Indicators**, 115, 106382, 2020.

LINARES, M. S., CALLISTO, M., & MARQUES, J. C. Compliance of secondary production and eco-exergy as indicators of benthic macroinvertebrates assemblages' response to canopy cover conditions in Neotropical headwater streams. **Science of the Total Environment**, 613–614, 1543–1550, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.282>

LINARES, M. S., CALLISTO, M., & MARQUES, J. C. Thermodynamic based indicators illustrate how a run-of-river impoundment in neotropical savanna attracts invasive species and alters the benthic macroinvertebrate assemblages' complexity. **Ecological Indicators**, 88, 181–189, 2018b. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.040>

LOPES, F. B., ANDRADE, E. M. D., MEIRELES, A., BECKER, H., & BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18, 437-445. 2014

MACEDO, D. R., HUGHES, R. M., FERREIRA, W. R., FIRMIANO, K. R., SILVA, D. R. O., LIGEIRO, R., KAUFMANN, P. R., & CALLISTO, M. Development of a

benthic macroinvertebrate multimetric index (MMI) for Neotropical Savanna headwater streams. **Ecological Indicators**, 64, 132–141, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.019>

MAGURRAN, A. E. Development of indicators of biological diversity. **Nature**, 202(4927), 14, 1999. <http://www.nature.com/nature/insights>

MAGURRAN, A. E. **Measuring Biological Diversity** (Blackwell).2013. <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0632056339.html>

MALMQVIST, B., & RUNDLE, S. Threats to the running water ecosystems of the world. **Environmental Conservation**, 29(2), 134–153, 2002. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000097>

MARTINS, I., LIGEIRO, R., HUGHES, R.M., MACEDO, D.R., CALLISTO, M. Regionalization is

key to establish reference conditions for neotropical savanna streams. **Mar. Freshw. Res.** 69 (1), 82–94, 2018. <https://doi.org/10.1071/MF16381>.

MERRIT, R. W., CUMMINS, K. W., & CAMPBELL, E. Uma abordagem funcional para a caracterização de Riachos Brasileiros. In N. Hamada, J. L. Nessimian, & R. B. Querino (Eds.), **Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**.724,2014.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Island Press, 2003.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01**, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte, 2008.

MONTEIRO, T. R., OLIVEIRA, L. G., & GODOY, B. S. (2008). Biomonitoramento da qualidade de água utilizando macroinvertebrados bentônicos: Adaptação do índice biótico BMWP' à bacia do Rio Meia Ponte-GO. **Oecol. Bras.**, 12(3), 553–563.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro:ABES, 2012.

MUGNAI, R., NESSIMIAN, J. L., & BAPTISTA, D. F. **Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro** (Technical), 2010.

MYERS, Norman et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(6772), 853-858, 2000.

ONU. 2022. **ONU declara que meio ambiente saudável é um direito humano**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/192608-onu-declara-que-meio-ambiente-saudavel-e-um-direito-humano> Acesso em: 23 set. 2022.

- OWEN, J. R. et al. Catastrophic tailings dam failures and disaster risk disclosure. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 42, 2020.
- PECK, D. V, A. T. HERLIHY, B. H. HILL, R. M. HUGHES, P. R. KAUFMANN, D. J. KLEMM, J. M. LAZORCHAK, F. H. MCCORMICK, S. A. PETERSON, P. L. RINGOLD, T. MAGEE, & M. R. CAPPAERT. **Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Water Western Pilot Study: Field Operations Manual for Weadable Streams**. Washington, D.C, 2006.
- PONTES, J.C., FARIAS, M.S.S., LIMA, V.L.A. Mineração e seus reflexos socioambientais: Estudo de Impactos de vizinhança (EVI) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. **Revista Polêmica**,12(1), 2013. <https://doi.org/10.12957/polemica.2013.5277>
- PRADEICZUK, A.; RENK, A.; DANIELI, M. A. Percepção ambiental no entorno da unidade de conservação Parque Estadual das Araucárias. **Revista Grifos**, 38/39, 13-32, 2015.
- PRADO, R. B.; DAMASCENO, G. M. S.; AQUINO, F. DE G. Overview of studies on ecosystem services in riparian zones: a systematic review. **Acta Limnologica Brasiliensia**,34, 1-16, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x1822>
- PRIMACK, Richard B; RODRIGUES, Efraim. **Biologia da conservação**. Londrina: Ed. Do Autor, 2008. 327 p.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, 2021 Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- RAMÍREZ, A., & GUTIÉRREZ-FONSECA, P. E. Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: A critical analysis and review of existing literature. **Revista de Biologia Tropical**, 62(April), 155–167, 2014. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15785>
- RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil; aspectos sociológicos e florísticos**. São Paulo: HUCITEC/USP, 1979. 374p.
- RODRIGUEZ, G., FIKÁČEK, M., MINOSHIMA, Y. N., ARCHANGELSKY, M., & TORRES, P. L. M. Going underwater: Multiple origins and functional morphology of piercing-sucking feeding and tracheal system adaptations in water scavenger beetle larvae (Coleoptera: Hydrophiloidea). **Zoological Journal of the Linnean Society**, 193(1), 1–30, 2021. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlaa132>
- ROSA, N.M.G. & MAGALHÃES JÚNIOR, A.P. Aplicabilidade de Protocolos de Avaliação Rápida (PARs) no diagnóstico ambiental de sistemas fluviais: o caso do parque nacional da serra do gandarela (mg). **Caderno de Geografia**, Minas Gerais, 29(57), 441-464, 2019. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n57p441-464>

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS

SÁNCHEZ, E., COLMENAREJO, M. F., VICENTE, J., RUBIO, A., GARCÍA, M. G., TRAVIESO, L., & BORJA, R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological indicators**, 7(2), 315-328. 2007

SANTOS, H.A., POMPEU, P.S., CALLISTO, M. Alterações hidrológicas a jusante de uma hidrelétrica: efeitos ecológicos e proposições. **Série Peixe Vivo** – Belo Horizonte: Cemig, 2020. <https://doi.org/10.5935/VIII.2020B001>

SANTOS, D. J. DOS; RUCHKYS, Ú.; TRAVASSOS, L. E. P. Perfil Geoecológico do Parque Nacional da Serra do Gandarela, Minas Gerais, Brasil. **Sociedade & Natureza**, 33, p. e57012, 2021.

SANTOS, D.J., RUCHKYS, Ú.A., TRAVASSOS, L.E.P., PIZANI, F.M.C. Use of geoprocessing techniques for the geoenvironmental characterization of the occurrence areas of speleological heritage in the Ferruginous Geosystem of the Serra do Gandarela National Park, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, 28(53),362-384, 2018. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2018v28n53p362-384>.

SCHATTSCHNEIDER, E.E. **The Semi-Sovereign People**. New York: Winston, 1960.

SILVA, D. R. O., HERLIHY, A. T., HUGHES, R. M., & CALLISTO, M. An improved macroinvertebrate multimetric index for the assessment of wadeable streams in the neotropical savanna. **Ecological Indicators**, 81(12), 514–525,2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.017>

SILVEIRA, F.A.O. et al. Vegetation misclassification compromises conservation of biodiversity and ecosystem services in Atlantic Forest ironstone outcrops. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 4, p. 238–242, 1 out. 2020.

SILVEIRA, F.A.O.; NEGREIROS, D.; BARBOSA, N.P.U; *et al.* Ecology and evolution of plant diversity in the endangered *campo rupestre*: a neglected conservation priority. **Plant Soil**, 403, 129–152, 2016.

SIMPSON, G. G. Mammals and the nature of continents. In **American Journal of Science** .241(1), 1–31, 1943. <https://doi.org/10.2475/ajs.241.1.1>

SOUZA, J. L. DE C., FERREIRA, V. M. B., & MORAES, M. Levantamento de insetos aquáticos em um trecho do rio Tijuca, Floresta da Tijuca – Rio de Janeiro, Brasil. **Research, Society and Development**, 9(1), e148911847,2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1847>

STODDARD, J.L., LARSEN, D.P., HAWKINS, C.P., JOHNSON, R.K. & NORRIS, R.H. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. **Ecological Applications**,16(4),1267–1276, 2006. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1267:SEFTEC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1267:SEFTEC]2.0.CO;2)

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS

STOFFELS, R. J., KARBE, S., & PATERSON, R. A. Length-mass models for some common New Zealand littoral-benthic macroinvertebrates, with a note on within-taxon variability in parameter values among published models. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, 37(2), 449–460, 2003.

<https://doi.org/10.1080/00288330.2003.9517179>

TUNDISI, J.G & MATSSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. 1 ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 2008.

VAN DYKE, F.; LAMB, R. L. **Conservation Biology**. Cham: Springer International Publishing, 2020.

VAN VUUREN, Detlef P. et al. Defining a sustainable development target space for 2030 and 2050. **One Earth**, 2022.

VERAS, A.P.B.B.; GUION DE ALMEIDA, C., LIMA DE MORAES, L.; FERNANDES, A.M. Ethnoornithology and Bird Conservation in Afro-descendant Communities in the Brazilian Caatinga. **Ethnobiology Letters**, 13(1), 1-15, 2022.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico das águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Ed. 3. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. (Disciplina: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1). 2005

Capítulo 8

Anexos

Anexo 1

Anexo I- Composição taxonômica distribuída nos substratos por sítio amostral, com base nos macroinvertebrados bentônicos coletados nos sítios amostrais do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG), em agosto de 2022.

Pontos 1 e 2

Taxon		GFA	P1			P2		
			Areia	Cascalho	Folhiço	Areia	Cascalho	Folhiço
Ephemeroptera -	Baetidae	CC	16	23	32	14	6	72
Ephemeroptera -	Caenidae	CC	0	0	0	0	0	1

Continuação da página anterior

Ephemeroptera -	Leptoceridae	CC	0	0	0	4	0	0
Ephemeroptera -	Campilocia	CC	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera -	Euthyplociidae	CC	0	0	0	0	0	0
Plecoptera -	Gripopterygidae	FR	1	1	2	0	0	0
Plecoptera -	Perlidae	PR	1	2	36	2	0	13
Trichoptera -	Helichopsychidae	RA	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Hydropsychidae	CF	1	0	3	0	0	5
Trichoptera -	Odontoceridae	FR	1	0	1	0	0	0
Trichoptera -	Hydroptilidae	RA	0	1	0	0	0	0
Trichoptera -	Calamoceratidae	CC	0	0	6	0	0	8
Trichoptera -	Oxyethira	RA	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Phylloicus	FR	1	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Barypenthus	FR	0	1	0	0	0	0
Trichoptera -	Polycentropodidae	CF	0	0	4	0	0	0
Odonata -	Corduliidae	PR	5	0	0	0	0	1
Odonata -	Gomphidae	PR	0	1	0	0	0	1
Odonata -	Libellulidae	PR	0	1	0	1	0	2
Odonata -	Calopterygidae	PR	0	0	0	0	0	2
Odonata -	Perilestidae	PR	0	0	1	0	0	0
Odonata -	Coenagrionidae	PR	0	0	1	0	0	0
Odonata -	Aeshnidae	PR	0	0	0	0	0	0

Continuação da página anterior

Odonata -	Dicteriidae	PR	0	0	0	0	0	0
Odonata -	Libellulidae	PR	0	0	0	0	0	0
Odonata -	Megapodagrionidae	PR	0	4	1	1	0	5
Heteroptera -	Veliidae	PR	3	0	0	0	0	3
Heteroptera -	Naucoridae	PR	2	0	1	0	0	5
Heteroptera -	Helotrephidae	PR	0	0	0	0	0	3
Hemiptera -	Corixidae	PR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Hydrophilidae	PR	0	0	0	0	0	1
Coleoptera -	Psephenidae	RA	1	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Elmidae	CC	4	2	1	0	0	3
Coleoptera -	Dytiscidae	PR	0	0	0	0	0	5
Coleoptera -	Girinidae	PR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Lutrochidae	FR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Staphilinidae	CC	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Hydrophiloidea	PR	2	0	0	0	0	0
Megaloptera -	Corydalidae	PR	0	1	5	1	0	0
Diptera -	Tipulidae	FR	0	1	0	2	0	0
Diptera -	Chironomidae	CC	21	22	130	29	2	121
Diptera -	Empididae	PR	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Ceratopogonidae	PR	3	0	9	4	0	3
Diptera -	Tabanidae	PR	0	0	1	0	0	0

Continuação da página anterior

Diptera -	Simuliidae	CF	0	0	7	1	254	0
Diptera -	Muscidae	PR	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Dixidae	CC	0	0	0	0	0	1
Diptera -	Culicidae	CC	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta -	Oligochaeta	CC	15	0	1	1	0	2
Clitellata -	Glossiphoniidae	PR	0	1	0	0	0	0
Arachnida -	Hydracarina	PR	6	0	0	0	0	0
Lepidoptera -	Pyralidae	FR	1	0	0	0	0	0
Crustacea -	Decapoda	FR	0	0	0	0	0	0
Malacostraca -	Amphipoda	FR	0	0	0	0	0	0
Tricladida -	Planariidae	PR	0	0	0	0	0	0
Collembola-	Collembola	CC	1	0	0	0	0	0

Pontos 3 e 4

Taxon		GFA	P3			P4		
			Areia	Cascalho	Folhço	Areia	Cascalho	Folhço
Ephemeropter-	Leptophlebiidae	CF	9	4	4	0	9	6
Ephemeropter-	Leptohyphidae	CC	1	9	0	1	0	0
Ephemeropter-	Baetidae	CC	14	21	30	26	5	14
Ephemeropter-	Caenidae	CC	0	0	0	14	8	3
Ephemeropter-	Leptoceridae	CC	0	0	0	0	0	0
Ephemeropter-	Campilocia	CC	0	0	0	0	0	1
Ephemeropter-	Euthyplociidae	CC	0	0	0	1	2	1
Plecoptera -	Gripopterygidae	FR	0	0	3	0	0	0
Plecoptera -	Perlidae	PR	0	4	3	0	4	7
Trichoptera -	Helichopsychidae	RA	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Hydropsychidae	CF	5	2	0	4	3	2
Trichoptera -	Odontoceridae	FR	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Hydroptilidae	RA	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Calamoceratidae	CC	0	0	0	0	1	1
Trichoptera -	Oxyethira	RA	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Phylloicus	FR	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Barypenthus	FR	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Polycentropodidae	CF	0	0	0	0	1	1

Continuação da página anterior

Odonata -	Corduliidae	PR	0	1	0	0	0	1
Odonata -	Gomphidae	PR	0	0	0	1	0	0
Odonata -	Libellulidae	PR	1	1	0	0	0	0
Odonata -	Calopterygidae	PR	0	1	5	0	0	0
Odonata -	Perilestidae	PR	0	0	0	0	1	0
Odonata -	Coenagrionidae	PR	0	1	2	0	0	0
Odonata -	Aeshnidae	PR	0	0	0	0	1	1
Odonata -	Dictyodidae	PR	0	0	0	0	0	0
Odonata -	Libellulidae	PR	0	0	0	6	0	0
Odonata -	Megapodagrionidae	PR	0	0	0	0	1	2
Heteroptera -	Veliidae	PR	1	6	2	0	0	0
Heteroptera -	Naucoridae	PR	0	0	0	0	0	0
Heteroptera -	Helotrephidae	PR	0	1	0	0	0	0
Hemiptera -	Corixidae	PR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Hydrophilidae	PR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Psephenidae	RA	1	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Elmidae	CC	2	1	1	0	0	0
Coleoptera -	Dytiscidae	PR	0	3	2	0	0	0
Coleoptera -	Girinidae	PR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Lutrochidae	FR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Staphilinidae	CC	0	0	0	0	0	0

Continuação da página anterior

Coleoptera -	Hydrophiloidea	PR	0	0	0	0	0	0
Megaloptera -	Corydalidae	PR	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Tipulidae	FR	0	0	1	9	0	0
Diptera -	Chironomidae	CC	11	10	21	42	4	0
Diptera -	Empididae	PR	0	0	0	0	0	1
Diptera -	Ceratopogonidae	PR	1	0	0	10	1	0
Diptera -	Tabanidae	PR	0	1	0	0	0	1
Diptera -	Simuliidae	CF	0	0	0	1	0	0
Diptera -	Muscidae	PR	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Dixidae	CC	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Culicidae	CC	0	0	0	0	0	1
Oligochaeta -	Oligochaeta	CC	0	0	0	0	0	0
Clitellata -	Glossiphoniidae	PR	0	0	0	0	0	0
Arachnida -	Hydracarina	PR	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera -	Pyralidae	FR	0	0	0	0	0	0
Crustacea -	Decapoda	FR	0	0	0	50	50	76
Malacostraca -	Amphipoda	FR	0	0	0	0	0	0
Tricladida -	Planariidae	PR	0	0	0	0	0	0
Collembola -	Collembola	CC	0	0	0	0	0	0

Pontos 5 e 6

Taxon		GFA	P5			P6		
			Areia	Cascalho	Folhiço	Areia	Cascalho	Folhiço
Ephemeroptera-	Leptophlebiidae	CF	0	0	4	1	3	0
Ephemeroptera-	Leptoxyphidae	CC	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera-	Baetidae	CC	23	14	60	35	108	3
Ephemeroptera-	Caenidae	CC	0	0	0	0	0	1
Ephemeroptera-	Leptoceridae	CC	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera-	Campilocia	CC	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera-	Euthyplociidae	CC	0	0	0	0	0	0
Plecoptera -	Gripopterygidae	FR	0	2	4	2	0	0
Plecoptera -	Perlidae	PR	0	7	1	0	2	3
Trichoptera -	Helichopsychidae	RA	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Hydropsychidae	CF	0	15	2	0	0	0
Trichoptera -	Odontoceridae	FR	0	0	0	0	1	0
Trichoptera -	Hydroptilidae	RA	0	0	0	1	0	0
Trichoptera -	Calamoceratidae	CC	0	0	0	0	1	0
Trichoptera -	Oxyethira	RA	0	0	1	0	0	0
Trichoptera -	Phylloicus	FR	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Barypenthus	FR	0	0	0	0	0	0
Trichoptera -	Polycentropodidae	CF	0	0	0	0	0	0

Continuação da página anterior

Odonata -	Corduliidae	PR	0	0	0	0	0	0
Odonata -	Gomphidae	PR	0	0	0	0	0	1
Odonata -	Libellulidae	PR	0	0	0	1	0	1
Odonata -	Calopterygidae	PR	0	0	0	0	0	0
Odonata -	Perilestidae	PR	0	0	0	0	0	0
Odonata -	Coenagrionidae	PR	0	0	0	0	0	0
Odonata -	Aeshnidae	PR	0	0	0	0	0	0
Odonata -	Dictyodidae	PR	0	0	2	0	0	0
Odonata -	Libellulidae	PR	2	0	0	0	0	0
Odonata -	Megapodagrionidae	PR	0	1	2	0	1	0
Heteroptera -	Veliidae	PR	0	0	0	0	0	0
Heteroptera -	Naucoridae	PR	0	0	0	0	0	0
Heteroptera -	Helotrephidae	PR	0	0	0	0	0	0
Hemiptera -	Corixidae	PR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Hydrophilidae	PR	0	1	1	2	1	5
Coleoptera -	Psephenidae	RA	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Elmidae	CC	0	1	0	1	2	2
Coleoptera -	Dytiscidae	PR	0	0	2	0	0	0
Coleoptera -	Girinidae	PR	1	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Lutrochidae	FR	0	0	0	0	0	0
Coleoptera -	Staphilinidae	CC	0	0	0	0	0	1

Continuação da página anterior

Coleoptera -	Hydrophiloidea	PR	0	0	0	0	0	0
Megaloptera -	Corydalidae	PR	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Tipulidae	FR	1	6	3	0	1	0
Diptera -	Chironomidae	CC	20	61	71	47	64	94
Diptera -	Empididae	PR	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Ceratopogonidae	PR	2	0	2	5	1	0
Diptera -	Tabanidae	PR	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Simuliidae	CF	0	1	2	0	0	0
Diptera -	Muscidae	PR	0	0	1	0	0	0
Diptera -	Dixidae	CC	0	0	0	0	0	0
Diptera -	Culicidae	CC	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta -	Oligochaeta	CC	0	0	0	1	0	0
Clitellata -	Glossiphoniidae	PR	0	0	0	0	0	0
Arachnida -	Hydracarina	PR	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera -	Pyralidae	FR	0	0	0	0	0	0
Crustacea -	Decapoda	FR	0	0	0	0	0	0
Malacostraca -	Amphipoda	FR	6	0	0	0	0	0
Tricladida -	Planariidae	PR	0	1	0	0	0	0
Collembola -	Collembola	CC	0	0	0	0	0	0

Ponto 7

Taxon		GFA	P7		
			Montante	Barragem	Jusante
Ephemeroptera-	Leptophlebiidae	CF	0	0	0
Ephemeroptera-	LeptoHyphidae	CC	0	0	0
Ephemeroptera-	Baetidae	CC	1	3	0
Ephemeroptera-	Caenidae	CC	0	0	0
Ephemeroptera-	Leptoceridae	CC	0	0	0
Ephemeroptera-	Campilocia	CC	0	0	0
Ephemeroptera-	Euthyplociidae	CC	0	0	0
Plecoptera -	Gripopterygidae	FR	4	0	1
Plecoptera -	Perlidae	PR	0	0	0
Trichoptera -	Helichopsychidae	RA	1	0	0
Trichoptera -	Hydropsychidae	CF	0	0	0
Trichoptera -	Odontoceridae	FR	0	0	0
Trichoptera -	Hydroptilidae	RA	0	0	0
Trichoptera -	Calamoceratidae	CC	0	0	0
Trichoptera -	Oxyethira	RA	0	0	0
Trichoptera -	Phylloicus	FR	0	0	0
Trichoptera -	Barypenthus	FR	0	0	0
Trichoptera -	Polycentropodidae	CF	2	0	0

Continuação da página anterior

Odonata -	Corduliidae	PR	0	0	0
Odonata -	Gomphidae	PR	0	0	0
Odonata -	Libellulidae	PR	0	1	0
Odonata -	Calopterygidae	PR	0	0	0
Odonata -	Perilestidae	PR	0	1	0
Odonata -	Coenagrionidae	PR	0	0	0
Odonata -	Aeshnidae	PR	0	0	0
Odonata -	Dictyodidae	PR	0	0	0
Odonata -	Libellulidae	PR	0	0	0
Odonata -	Megapodagrionidae	PR	0	4	0
Heteroptera -	Veliidae	PR	2	0	6
Heteroptera -	Naucoridae	PR	0	0	0
Heteroptera -	Helotrephidae	PR	0	0	0
Hemiptera -	Corixidae	PR	0	1	0
Coleoptera -	Hydrophilidae	PR	0	0	0
Coleoptera -	Psephenidae	RA	0	0	0
Coleoptera -	Elmidae	CC	0	0	0
Coleoptera -	Dytiscidae	PR	0	0	0
Coleoptera -	Girinidae	PR	0	0	0
Coleoptera -	Lutrochidae	FR	0	0	2
Coleoptera -	Staphilinidae	CC	0	0	0

Continuação da página anterior

Coleoptera -	Hydrophiloidea	PR	0	0	0
Megaloptera -	Corydalidae	PR	0	1	1
Diptera -	Tipulidae	FR	0	0	2
Diptera -	Chironomidae	CC	83	41	264
Diptera -	Empididae	PR	0	0	0
Diptera -	Ceratopogonidae	PR	17	19	18
Diptera -	Tabanidae	PR	0	0	0
Diptera -	Simuliidae	CF	3	0	1
Diptera -	Muscidae	PR	0	0	0
Diptera -	Dixidae	CC	0	0	0
Diptera -	Culicidae	CC	0	0	0
Oligochaeta -	Oligochaeta	CC	0	2	14
Clitellata -	Glossiphoniidae	PR	0	0	0
Arachnida -	Hydracarina	PR	0	0	0
Lepidoptera -	Pyralidae	FR	0	0	0
Crustacea -	Decapoda	FR	0	0	0
Malacostraca -	Amphipoda	FR	0	0	0
Tricladida -	Planariidae	PR	0	0	0
Collembola -	Collembola	CC	0	0	0



Universidade Federal de Minas Gerais



Quadro 1: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EUA) (EPA, 1987). (Obs.: 4 pontos (situação natural), 2 e 0 pontos (situações leve ou severamente alteradas).

<i>Descrição do Ambiente</i>			
<i>Localização:</i>			
<i>Data de Coleta:</i> / /		<i>Hora da Coleta:</i>	
<i>Tempo (situação do dia):</i>			
<i>Modo de coleta (coletor):</i>			
<i>Tipo de Ambiente: Córrego () Rio ()</i>			
<i>Largura média:</i>			
<i>Profundidade média:</i>			
<i>Temperatura da água:</i>			
<i>PARÂMETROS</i>	<i>PONTUAÇÃO</i>		
	<i>4 pontos</i>	<i>2 pontos</i>	<i>0 ponto</i>
<i>1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)</i>	<i>Vegetação natural</i>	<i>Campo de pastagem/Agricultura/ Monocultura/ Reflorestamento</i>	<i>Residencial/ Comercial/ Industrial</i>
<i>2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito</i>	<i>Ausente</i>	<i>Moderada</i>	<i>Acentuada</i>
<i>3. Alterações antrópicas</i>	<i>Ausente</i>	<i>Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)</i>	<i>alterações de origem industrial/ urbana (fábricas, siderurgias, canalização, retificação do curso do rio)</i>
<i>4. Cobertura vegetal no leito</i>	<i>Parcial</i>	<i>Total</i>	<i>Ausente</i>
<i>5. Odor da água</i>	<i>Nenhum</i>	<i>Esgoto (ovo podre)</i>	<i>óleo/industrial</i>
<i>6. Oleosidade da água</i>	<i>Ausente</i>	<i>Moderada</i>	<i>Abundante</i>
<i>7. Transparência da água</i>	<i>Transparente</i>	<i>turva/cor de chá-forte</i>	<i>opaca ou colorida</i>
<i>8. Odor do sedimento (fundo)</i>	<i>Nenhum</i>	<i>Esgoto (ovo podre)</i>	<i>óleo/industrial</i>
<i>9. Oleosidade do fundo</i>	<i>Ausente</i>	<i>Moderado</i>	<i>Abundante</i>
<i>10. Tipo de fundo</i>	<i>pedras/cascalho</i>	<i>Lama/areia</i>	<i>cimento/canalizado</i>

Quadro 2: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo de Hannaford et al. (1997). (Obs.: 5 pontos (situação natural), 3, 2 e 0 pontos (situações leve ou severamente alteradas)).

PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 ponto
11. Tipos de fundo	Mais de 50% com habitats diversificados; pedaços de troncos submersos; cascalho ou outros habitats estáveis.	30 a 50% de habitats diversificados; habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos.	10 a 30% de habitats diversificados; disponibilidade de habitats insuficiente; substratos freqüentemente modificados.	Menos que 10% de habitats diversificados; ausência de habitats óbvia; substrato rochoso instável para fixação dos organismos.
12. Extensão de rápidos	Rápidos e corredeiras bem desenvolvidas; rápidos tão largos quanto o rio e com o comprimento igual ao dobro da largura do rio.	Rápidos com a largura igual à do rio, mas com comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Trechos rápidos podem estar ausentes; rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Rápidos ou corredeiras inexistentes.
13. Freqüência de rápidos	Rápidos relativamente freqüentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 5 e 7.	Rápidos não freqüentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 7 e 15.	Rápidos ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 15 e 25.	Geralmente com lâmina d'água "lisa" ou com rápidos rasos; pobreza de habitats; distância entre rápidos dividida pela largura do rio maior que 25.
14. Tipos de substrato	Seixos abundantes (prevalecendo em nascentes).	Seixos abundantes; cascalho comum.	Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns seixos presentes.	Fundo pedregoso; seixos ou lamoso.
15. Deposição de lama	Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama.	Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama.	Entre 50 e 75% do fundo coberto por lama.	Mais de 75% do fundo coberto por lama.
16. Depósitos sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama; ausência de deposição nos remansos.	Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente como aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30% do fundo afetado; suave deposição nos remansos.	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens; entre 30 a 50% do fundo afetado; deposição moderada nos remansos.	Grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens; mais de 50% do fundo modificado; remansos ausentes devido à significativa deposição de sedimentos.
17. Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes; evidência de modificações há mais de 20 anos.	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado.	Margens modificadas; acima de 80% do rio modificado.
18 Características do fluxodaságuas	Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio; mínima quantidade de substrato exposta.	Lâmina d'água acima de 75% do canal do rio; ou menos de 25% do substrato exposto.	Lâmina d'água entre 25 e 75% do canal do rio, e/ou maior parte do substrato nos "rápidos" exposto.	Lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.
19. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas; mínima evidência de deflorestamento; todas as plantas atingindo a altura "normal".	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa; deflorestamento evidente mas não afetando o desenvolvimento da vegetação; maioria das plantas atingindo a altura "normal".	Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa; deflorestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada; menos da metade das plantas atingindo a altura "normal".	Menos de 50% da mata ciliar nativa; deflorestamento muito acentuado.
20 Estabilidade das margens	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% da margem afetada.	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão freqüentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.	Moderadamente instável; entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.	Instável; muitas áreas com erosão; freqüentes áreas descobertas nas curvas do rio; erosão óbvia entre 60 e 100% da margem.
21. Extensão de mata ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18 m; sem influência de atividades antrópicas (agropecuária, estradas, etc.).	Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m; mínima influência antrópica.	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m; influência antrópica intensa.	Largura da vegetação ripária menor que 6 m; vegetação restrita ou ausente devido à atividade antrópica.
22. Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos pelo leito.	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídas no rio, substrato com perifiton.	Algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras ou alguns remansos, perifiton abundante e biofilme.	Ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos macrófitas (p.ex. aguapé).

CALLISTO, M., FERREIRA, W., MORENO, P., GOULART, M. D. C. & PETRUCIO, M.. 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*. 14(1): 91 - 98.

FICHA TÉCNICA PARA A PRODUÇÃO TÉCNICA E TECNOLÓGICA

2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG – Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ – Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ – Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Elisangela Cristina da Silva Costa

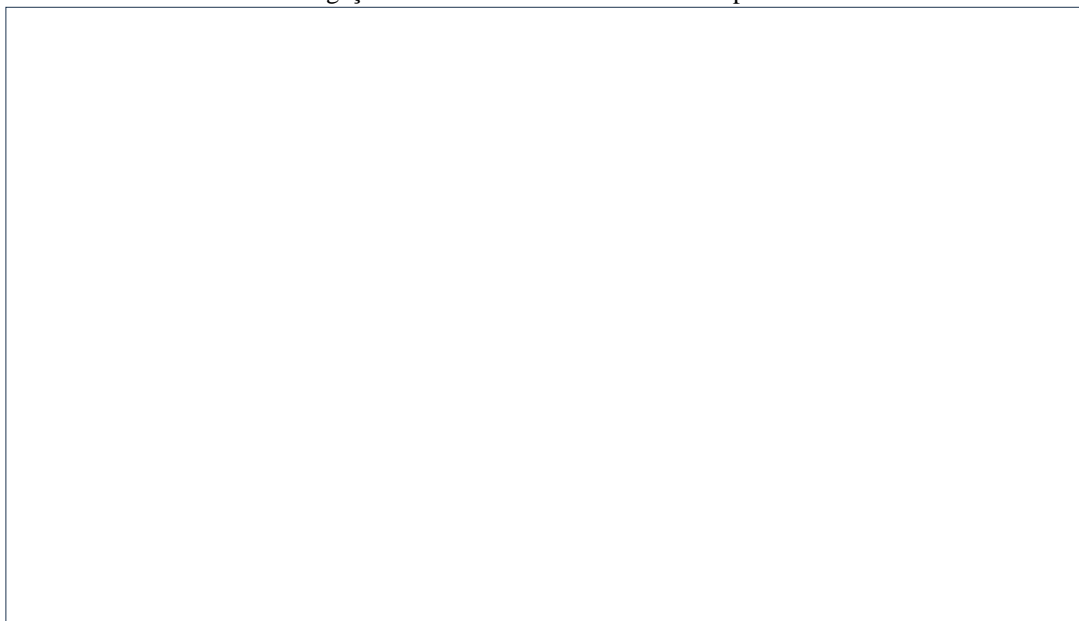
Orientadora: Profa. Dra. Grazielle Wolff deAlmeida Carvalho (IFMG/S.J. Evangelista)

Coorientadores: Profa. Dra. Patrícia Pereira Gomes (IFMG/S.J. Evangelista)

Prof. Dr. Marcos Callisto de Faria Pereira (UFMG)



IMAGENS

Catálogo - Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí



ATENDIMENTO AO ITEM 19 DO EIXO 1 DA CAPES- PROTOCOLO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL / APLICAÇÃO OU ADEQUAÇÃO TECNOLÓGICA (EX. POP).

O produto técnico apresentado, foi elaborado baseado nas necessidades técnicas e operacionais apresentadas na reunião de kick-off pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Guanhães- Minas Gerais. O produto apresenta impactos sociais e econômicos positivos aomunicípio de Guanhães em Minas Gerais, por meio do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), utilizando as informações apresentadas nestas produções técnicas.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			



APRESENTAÇÃO: Procedimento operacional padrão (POP), desenvolvido como produto técnico-tecnológico (PTT), em atendimento ao **ITEM 19 do Eixo 1-** Protocolo tecnológico experimental / aplicação ou adequação tecnológica (ex. POP) do Eixo 1- PRODUTOS E PROCESSOS da CAPES, apresentado ao programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, realizado em parceria com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de Guanhães- Minas Gerais, Laboratório de Ecologia de Bentos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e curso de MBA em Restauração Ambiental do departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)-Sorocaba/SP.

OBJETIVO: Propor um procedimento padrão para acompanhamento do progresso de ações de restauração da vegetação ripária. Partindo do pressuposto de que: intervenções piloto de pequenas áreas são úteis para avaliar progressivamente e ordenar de forma crescente a recuperação ao longo do tempo. Espera-se que este procedimento aponte quais estratégias e período são suficientes para a restauração do alto ribeirão Graipu. Os resultados obtidos neste trabalho contribuirão para subsidiar propostas relevantes a gestão de recursos hídricos da sub-bacia do ribeirão Graipu a médio e longo prazo, tendo como premissa a conservação dos ecossistemas aquáticos por meio da restauração da vegetação ripária (ecossistemas ripários).



METAS: 1- Identificar trechos que sirvam como referência utilizando a abordagem do Protocolo de Avaliação Rápida de condições ecológicas e Diversidade de Habitats e integridade de Zonas Ripárias (RAP);

2- Identificar quais índices bióticos dos macroinvertebrados bentônicos estão correlacionados com os trechos de referência e que podem ser utilizados como bioindicadores de restauração ripária;

3- Propor um procedimento que ilustre a taxa de recuperação dos trechos alterados ao longo do tempo.



 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Este Procedimento Operacional Padrão (POP), deve ser citado como: Costa, Elisangela Cristina da Silva, Callisto, Marcos;, Gomes, Patrícia;, Wolff, Grazielle;, & Cetra, Maurício. (2023). Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração. (1,0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478>. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. 48 págs. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Sumário

APRESENTAÇÃO	1
OBJETIVO.....	1
METAS	1
DESENHO AMOSTRAL	4
Caracterização dos sítios amostrais a serem trabalhados	5
Determinação dos ecossistemas de referência.....	8
Coleta e identificação dos macroinvertebrados bentônicos.....	8
Índices bióticos.....	10
Roda da recuperação	11
Resultados	14
Índices bióticos.....	16
Planejamento conceitual da restauração - roda da recuperação.....	29
Avaliação do progresso	31
Descrição ecológica da área escolhida para restauração P6.....	32
Avaliação do progresso	34
Descrição ecológica da área escolhida para restauração P7	35
Avaliação do progresso	37
FLUXOGRAMA- Planejamento conceitual para mitigação de impactos.....	37
<i>Anexo A: protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats.....</i>	<i>40</i>
<i>Anexo B: escala geral por atributos, roda da recuperação.</i>	<i>42</i>
<i>Anexo C: composição taxonômica distribuída por família de macroinvertebrado.</i>	<i>44</i>
<i>Anexo D: escala geral</i>	<i>45</i>
<i>Anexo E: lista de espécies nativas atrativas da fauna (sugestiva)</i>	<i>47</i>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			



DESENHO AMOSTRAL

Foram definidos sete sítios amostrais em trechos de riachos na porção superior da sub-bacia do ribeirão Graipu como área de estudo. Um deles pertence à porção média do ribeirão Graipu, abrangendo a área de Reserva Legal da Cenibra, e o outro pertence à sub-bacia do Rio Guanhães localizado no interior do Parque Estadual Serra da Candonga (PESC), abrangendo os principais pontos de monitoramento e de relevância para o SAAE (Tabela 1).

Tabela 1: Identificação e coordenadas geográficas dos sítios amostrais do alto ribeirão Graipú, Guanhães-MG.

Sítios amostrais	Códigos	Coordenadas
Parque Estadual Serra da Candonga	P1	-18.911644°; -42.958525°
Reserva Legal CENIBRA	P2	-18.912214°; -42.931331°
Captação SAAE	P3	-18.755664°; -42.967789°
Jusante Santa Cruz	P4	-18.748553°; -42.973628°
Mineração	P5	-18.715692°; -43.020103°
Área rural (Graipu-Pinheiros)	P6	-18.704875°; -43.031747°
Montante Santa Cruz	P7	-18.733575°; -42.975119°

O desenho amostral foi realizado em uma campanha pontual no mês de abril/2022 durante três dias. Foram definidos sete sítios amostrais no trecho alto da sub-bacia (Fig. 1).

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

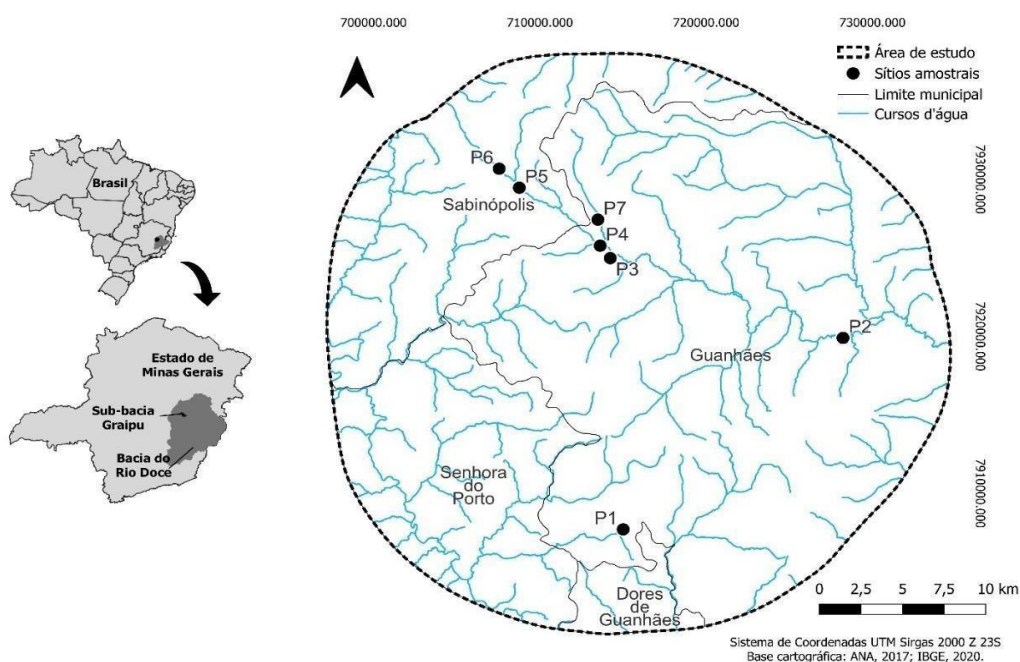




Figura 1- Definição dos sítios amostrais da área de estudo (ANA,2017; IBGE,2020).

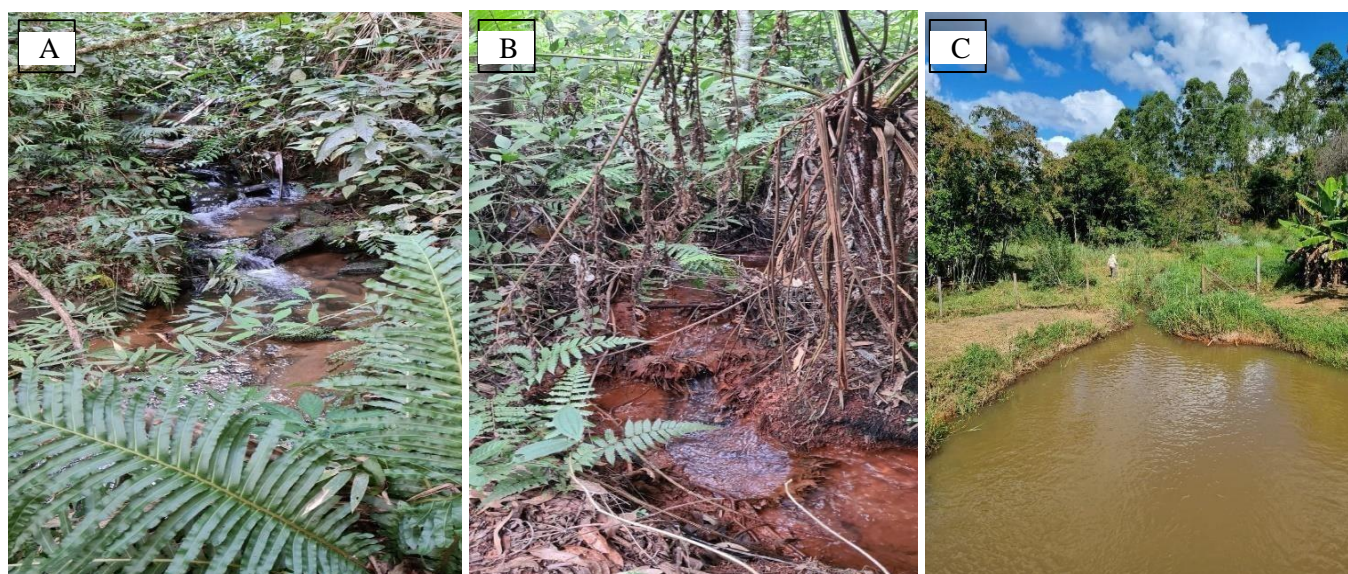
CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS AMOSTRAIS A SEREM TRABALHADOS



O sítio amostral P1 está localizado em uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral denominada Parque Estadual Serra da Candonga (PESC), com 3.302,66 ha de áreas preservadas e que tem por finalidade proteger a fauna, flora, nascentes de rios e córregos na região (Fig. 2 A). Essa área pertence à bacia do rio Guanhães. O sítio amostral P2 está localizado em uma reserva legal da empresa Celulose Nipo-Brasileira S/A (Cenibra), que mantém plantação de eucalipto em uma área de 350 ha (Fig. 2 B). Essa área pertence à bacia do rio Corrente Grande, afluente da margem esquerda do rio Doce (Tonello et al., 2009). O sítio amostral P3 está situado no ribeirão Graipu, a jusante da barragem de captação de água bruta do SAAE (Fig. 2 C).

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

O sítio amostral P4 está localizado em uma área rural a montante do Córrego Santa Cruz, afluente do ribeirão Graipu, antes da Barragem de Acumulação do SAAE, sendo a área caracterizada pela prática de pastejo e dessedentação do gado (Fig. 2 D).

O sítio amostral P5 que faz parte do ribeirão Graipu, está localizado nas proximidades da portaria da Minas Mineração Guanhães LTDA. Neste local é possível observar o tráfego de veículos pesados, material particulado proveniente da mineradora e descartes de efluente domésticos (Fig. 2 E). O sítio amostral P6 fica localizado em uma área rural da comunidade Pinheiros, próximo à nascente do ribeirão Graipu. Esse curso d'água atravessa uma propriedade particular e é caracterizado pelo descarte de efluentes sanitários (Fig. 2 F). O sítio amostral P7 está localizado à montante do córrego Santa Cruz, antes da barragem de acumulação. Este local é caracterizado por receber efluentes sanitários (Fig. 2 G).



 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

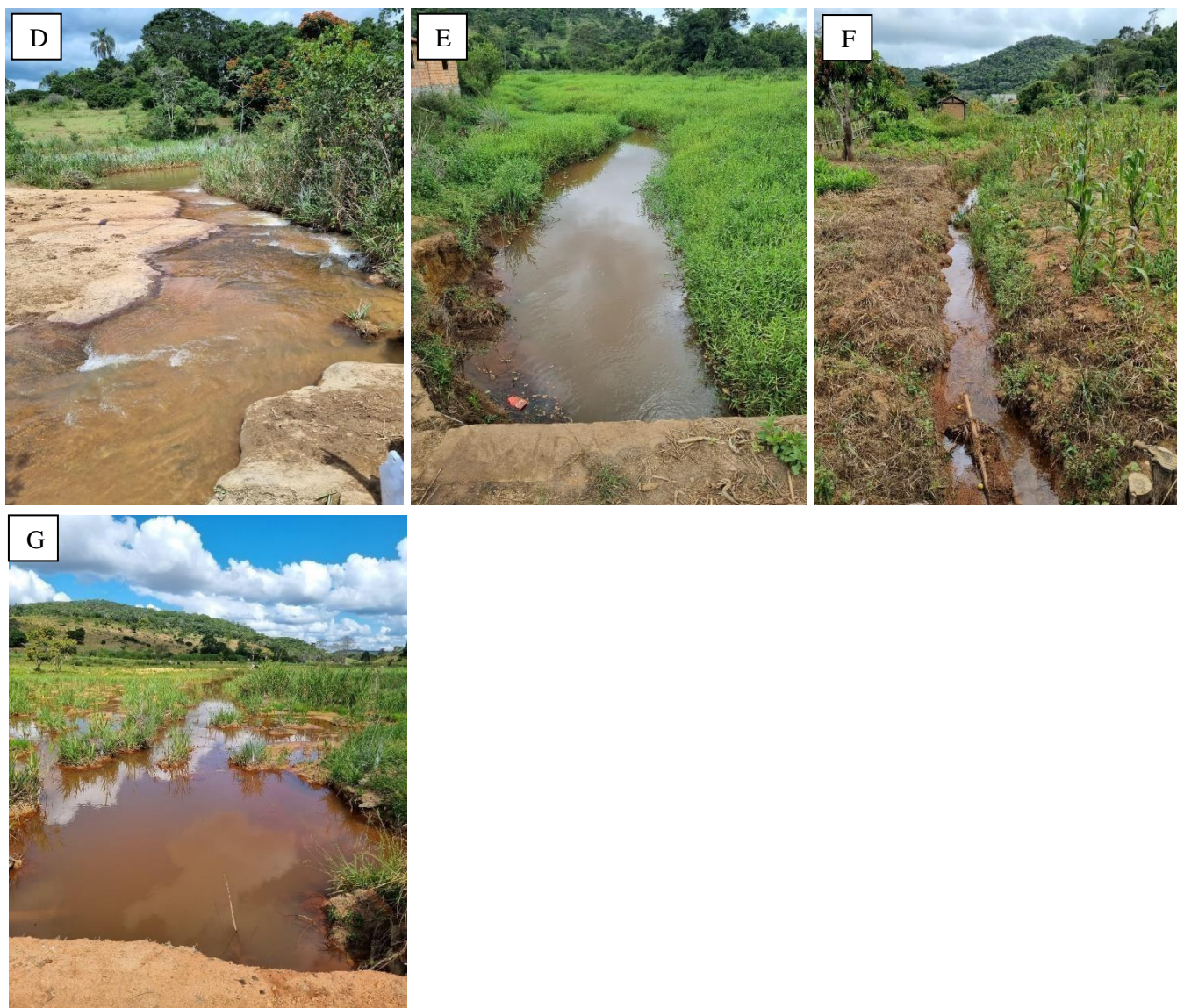




Figura 2- (A) P1: PESC; (B) P2: Reserva Legal da Cenibra; (C) P3: barragem de captação de água bruta do SAAE; (D) P4: área rural à montante do Córrego Santa Cruz; (E) P5: Minas Mineração Guanhães LTDA; (F) P6: área rural da comunidade Pinheiros; (G) P7: montante do córrego Santa Cruz.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

DETERMINAÇÃO DOS ECOSSISTEMAS DE REFERÊNCIA

Aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de condições ecológicas de Diversidade de Hábitats e Integridade de Zonas Ripárias (RAP)

Para caracterização rápida da diversidade de habitat foi utilizado o “Protocolo de Avaliação Ecológica Rápida de condições ecológicas e diversidade de habitats em trechos de sub-bacias hidrográficas”, proposto por Callisto et al. (2002). Nesse protocolo foram analisadas: profundidade do canal, largura da área molhada, tipo do substrato, fluxo, presença/ausência de cobertura vegetal, tipo de vegetação ciliar e influência antrópica (presença de construções, pasto, agricultura, rodovias, lixo, etc.). Foram avaliados 22 parâmetros sendo que 10 são pontuados em uma escala de 0 a 4 (Anexo A- Quadro 1), e os outros 12 em uma escala de 0 a 5 (Anexo A- Quadro 2). Quanto menor a influência de atividades antrópicas, maiores são os valores atribuídos. Pontuações entre 0 e 40 indicam trechos impactados, valores entre 41 e 60 trechos alterados, e valores acima de 60 pontos, representam trechos em condições de referência (Callisto et al., 2002).

O protocolo contribuiu para a padronização dos dados ao proporcionar um panorama qualitativo de cada ponto amostral, resultando em uma avaliação completa das condições ecológicas dos habitats. A aplicação deste protocolo irá gerar um Índice de Funcionalidade de Habitat (IFH) que subsidiará novos atributos propostos para a roda da recuperação.

COLETA E IDENTIFICAÇÃO DOS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS

As amostras de macroinvertebrados bentônicos foram coletadas utilizando um amostrador do tipo Kicking-net (malha 250 µm) acoplado a um cabo metálico de 1,5 m (Fig. 3 A; B). Todo material coletado foi transferido para sacos plásticos identificados por sítio amostral, e fixados com álcool etílico 70% (Fig. 3 C). Após coletadas, todas as amostras foram lavadas e triadas no laboratório de Ecologia de Bentos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte.





 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão n°001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			



Figura 3- (A; B) Coleta de macroinvertebrados bentônicos com amostrador do tipo kicking net; (B) Armazenamento das amostras.

As amostras foram lavadas sobre peneira de malha de 0,50 mm (Fig. 4 A) e, em seguida, transferidas para uma badeja branca sobreposta a uma caixa de luz (Fig. 4 B). Os macroinvertebrados foram triados e identificados (Fig. 4 C). A classificação foi realizada até o nível de família (exceto para subclasse Annelida e ordem Acari). As identificações foram realizadas com o auxílio de chaves taxonômicas (Hamada et al., 2018; Mugnai et al., 2010).

Os táxons identificados foram preservados em álcool etílico 70%, em tubos de ensaio invertidos e tampados com algodão, acondicionados em um recipiente de vidro com álcool 70%. Os organismos foram depositados na Coleção de Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, segundo metodologia proposta por França & Callisto (2007).

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

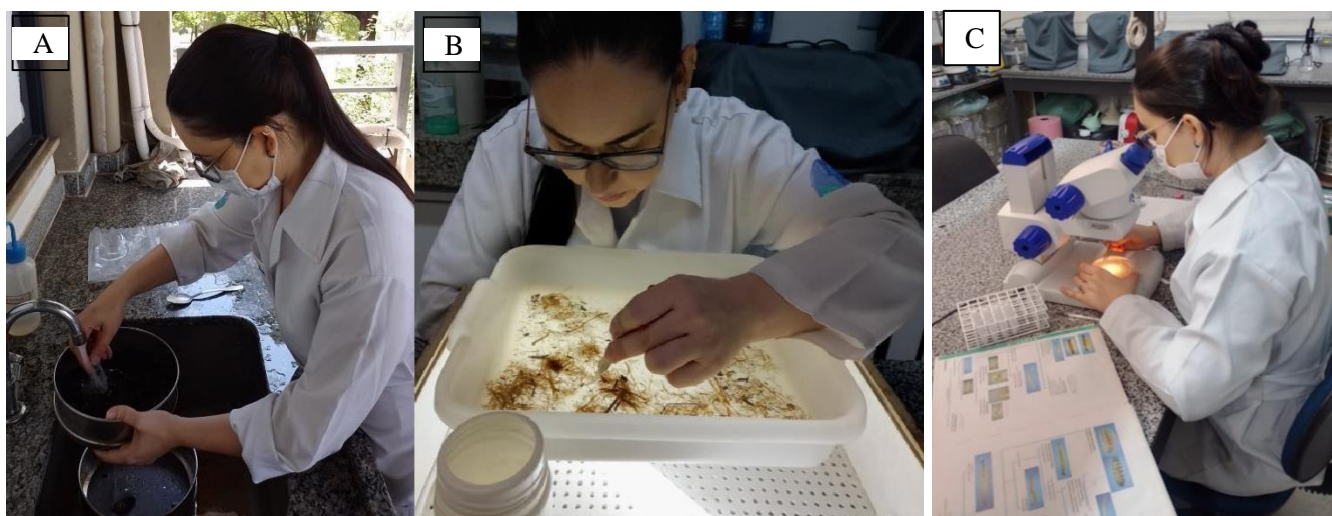




Figura 4- (A) Lavagem de amostras; (B) Triagem de amostras com auxílio da caixa de luz; (C) Triagem de amostras com auxílio da lupa estereoscópica para classificação das famílias.

UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES BIÓTICOS

Com o objetivo de avaliar a estrutura taxonômica das comunidades bentônicas foram calculados os valores de riqueza taxonômica, abundância de indivíduos, diversidade de Shannon (H') e Simpson ($1-D$) (Magurran, 1999, 2013). Em seguida, foram calculados os índices BMWP e BMWP-ASPT (Junqueira et al., 2018; Monteiro et al., 2008). Os organismos foram classificados em sensíveis, tolerantes e resistentes e foram agrupados funcionalmente de acordo com a alimentação (GFA) (Callisto et al., 2021; Carrera & Fierro, 2018; Junqueira et al., 2000; Merrit et al., 2014; Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014; Santana & Dantas, 2014).

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Foi realizada uma análise de correlação de “Pearson” (r) para avaliar quais índices bióticos aplicados aos macroinvertebrados bentônicos estão correlacionados ($r \geq 0,5$ ou $r \leq -0,5$) com o gradiente trechos de referência/alterado e que podem ser utilizados como bioindicadores de restauração ripária na roda da recuperação.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			



RODA DA RECUPERAÇÃO

A roda da recuperação é uma ferramenta projetada para auxiliar na avaliação do grau e condições em que o ecossistema em tratamento está se recuperando ao longo do tempo. Essa avaliação deve ser realizada comparando o atributo do sistema degradado ao seu ecossistema de referência. A avaliação de cada atributo é realizada com base nas semelhanças do ecossistema de referência tendo como premissa os 5 níveis ou “estrelas” como indicadores na avaliação progressiva do ambiente a ser restaurado, conforme pode ser observado de forma resumida (Tabela 2) e de forma expandida na Tabela 3- (Anexo B). Por meio dessa avaliação são estabelecidas metas, objetivos e indicadores específicos do local e os níveis de recuperação alcançados até um dado momento e atribui-se o valor para cada subatributo após avaliação formal ou informal no local que está em processo de restauração (Society for Ecological Restoration, 2019).

Tabela 2- Resumo dos padrões gerais para níveis de recuperação 1-5 estrelas.

Nº de estrelas	Resumo do resultado da recuperação (com base em um ecossistema nativo de referência adequado)
★	Prevenção da continuidade da degradação. Substratos remediados (física e quimicamente). Alguma biota nativa presente e nichos para recrutamento futuro não estão prejudicados pelas características bióticas ou abióticas atuais. Melhorias futuras para todos os atributos já planejados e manejo futuro da área garantido.
★★	Ameaças de áreas adjacentes começando a ser manejadas ou mitigadas. A área apresenta um pequeno subconjunto das espécies nativas características do ecossistema e baixa ameaça das espécies indesejadas no local. Melhoria da conectividade já planejada com proprietários de terra próximos.
★★★	Ameaças circundantes sendo manejadas ou mitigadas e baixíssima ameaça de espécies indesejadas na área. Um subconjunto moderado de espécies nativas características do ecossistema estão estabelecidas. Evidência do retorno da funcionalidade dos ecossistemas. Evidência de melhoria da conectividade.
★★★★	Um subconjunto significativo da biota característica do ecossistema está presente (representando todos os grupos de espécies), fornecendo evidência para o desenvolvimento da estrutura da comunidade e início dos processos ecossistêmicos. Estabelecimento de melhor conectividade e manejo ou mitigação das ameaças circundantes.
★★★★★	Estabelecimento de uma comunidade biótica característica do ecossistema, de tal forma que a complexidade estrutural e trófica poderá desenvolver-se sem intervenções adicionais. Início dos fluxos transfronteiriços adequados. Altos níveis de resiliência são prováveis com o retorno do regime de distúrbios apropriados. Planos de manejo de longo prazo já estabelecidos.

Fonte: McDonald et al., (2016).



 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Nota 1: Cada nível é cumulativo. **Nota 2:** Os diferentes atributos evoluirão em velocidades diferentes (Tabela 9), que mostra padrões gerais mais detalhados para cada um dos seis atributos do ecossistema. **Nota 3:** Este sistema é aplicável para qualquer nível de recuperação em que um ecossistema de referência seja usado.

Esta avaliação assenta num sistema de classificação de cinco estrelas, atribuído a 18 subatributos (Fig.5), agrupados em seis atributos principais:

- Ausência de ameaças;
- Condições físicas;
- Composição de espécies;
- Diversidade estrutural;
- Função do ecossistema;
- Trocas externas.

A média dos três subatributos por atributo retornará à classificação por estrelas para esse atributo. A média de todos os atributos retornará o resumo do resultado da recuperação. A roda da recuperação será adaptada como proposta para recuperação da vegetação ripária, utilizando os macroinvertebrados como indicadores biológicos dos atributos da composição de espécies, diversidade estrutural e função ecossistêmica.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

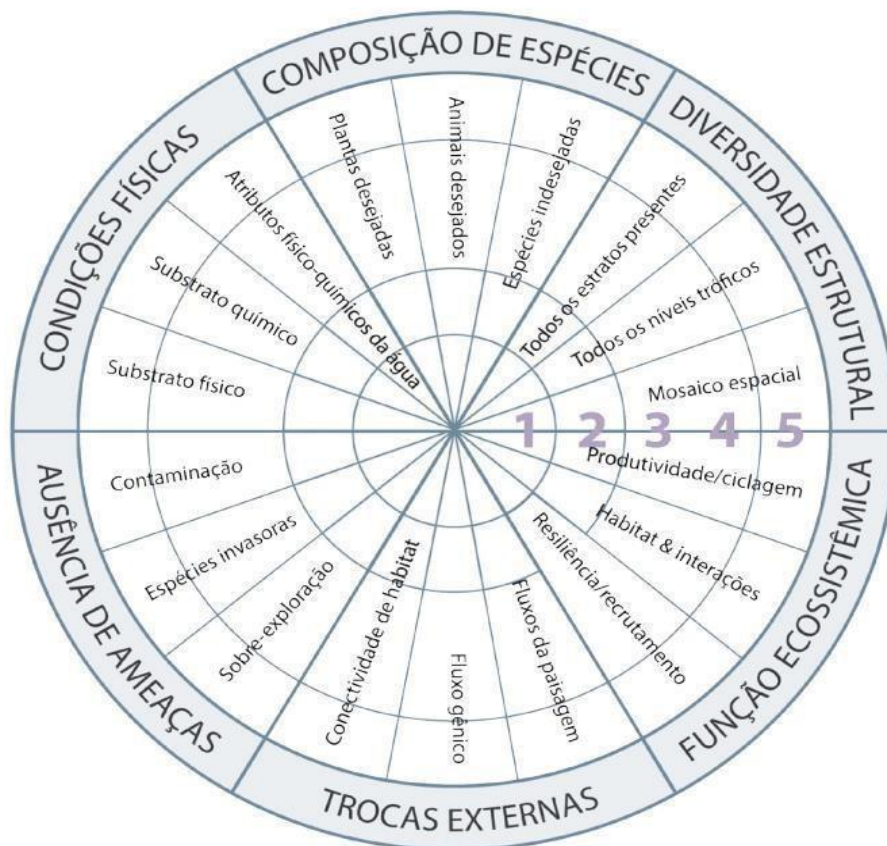




Figura 5- Roda da restauração (SER, 2004).

UTILIZANDO A FERRAMENTA “RODA DE RECUPERAÇÃO”

Por meio do site <https://seraustralasia.com/wheel/wheel.html> obtém-se uma versão interativa e original da roda de recuperação conforme proposto pela SER, no qual permitirá o preenchimento automático da roda, inserindo valores na pró-forma. A classificação média por estrelas aparecerá em cada seção de atributo e a classificação geral por estrelas aparecerá sob a roda (Society for Ecological Restoration, 2019).

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

RESULTADOS

Protocolo de Avaliação Rápida de Diversidade de Habitats e Integridade de Zonas Ripárias (RAP)

Os resultados da Aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (RAP) demonstraram que existe degradação ambiental em três dos sete sítios analisados, sendo que em P5 a classificação foi como ecossistema alterado e em P6 e P7 os ecossistemas foram classificados como impactados que se referem a áreas antropizadas, evidenciando distúrbios nos ecossistemas aquáticos. Em contrapartida, quatro dos sete sítios analisados (P1, P2, P3 e P4) foram identificados como condições de referência com características ambientais satisfatórias para a manutenção da vida nos cursos d'água (Tabela 4).





 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Tabela 4: Características físicas dos habitats levantadas por meio da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de condições ecológicas e Diversidade de Habitats em trechos de Bacias Hidrográficas aplicados nos sete sítios amostrais do alto ribeirão Graipú.

Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água;	4	4	2	2	2	0	2
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito;	4	4	4	2	2	2	0
3. Alterações antrópicas;	4	4	0	2	2	0	2
4. Cobertura vegetal no leito;	4	4	4	4	4	4	0
5. Odor da água;	4	4	4	4	4	4	4
6. Oleosidade da água;	4	4	4	4	2	4	4
7. Transparência da água;	4	4	2	4	2	2	2
8. Odor do sedimento (fundo);	4	4	4	4	4	4	4
9. Oleosidade do fundo;	4	4	4	4	4	4	4
10. Tipo de fundo;	2	2	2	4	2	2	2
11. Tipos de fundo (habitats);	5	5	5	3	3	2	2
12. Extensão de rápidos;	5	5	5	3	3	0	2
13. Frequência de rápidos;	5	5	5	5	5	0	2
14. Tipos de substrato;	0	0	3	3	0	0	0
15. Deposição de lama;	2	0	5	5	0	0	0
16. Depósitos sedimentares;	5	5	3	3	0	0	0
17. Alteração no canal do rio;	5	5	3	0	0	0	0
18. Características do fluxo das águas;	5	5	5	5	3	5	2
19. Presença de mata ciliar;	5	5	0	0	0	2	0
20. Estabilidade das margens;	5	5	5	3	2	3	0
21. Extensão da mata ciliar;	5	5	0	0	0	0	0
22. Presença de plantas aquáticas.	5	5	3	5	2	0	5
Total (IFH)	90	88	72	69	46	38	37
Resultado	Ref.	Ref.	Ref.	Ref.	Alt.	Imp.	Imp.

Elaborado por: autora

Legenda: Ref.= Referência; Alt.= Alterado; Imp. = Impactado

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

ÍNDICES BIÓTICOS

Composição Taxonômica

Foram coletados 1.441 macroinvertebrados bentônicos classificados em 14 ordens e 41 famílias (Tabela 5-Anexo C). A composição taxonômica foi distinta entre os pontos analisados, evidenciando maior número de organismos sensíveis em sítios amostrais em condições de referência. Os organismos tolerantes e resistentes foram encontrados nos sítios amostrais em condições alteradas e impactadas por atividades humanas (Fig.6).

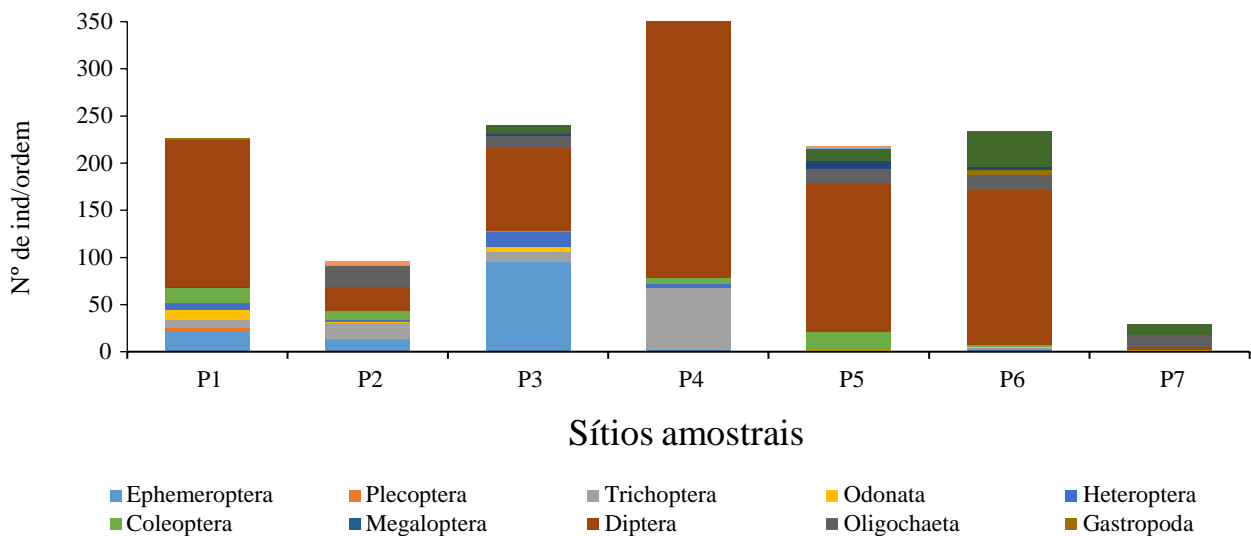


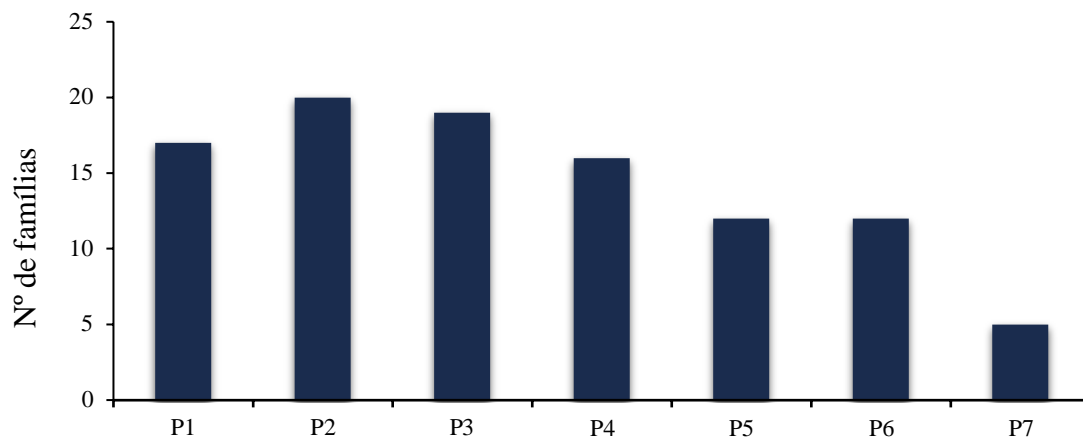


Figura 6- Composição taxonômica de macroinvertebrados bentônicos nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

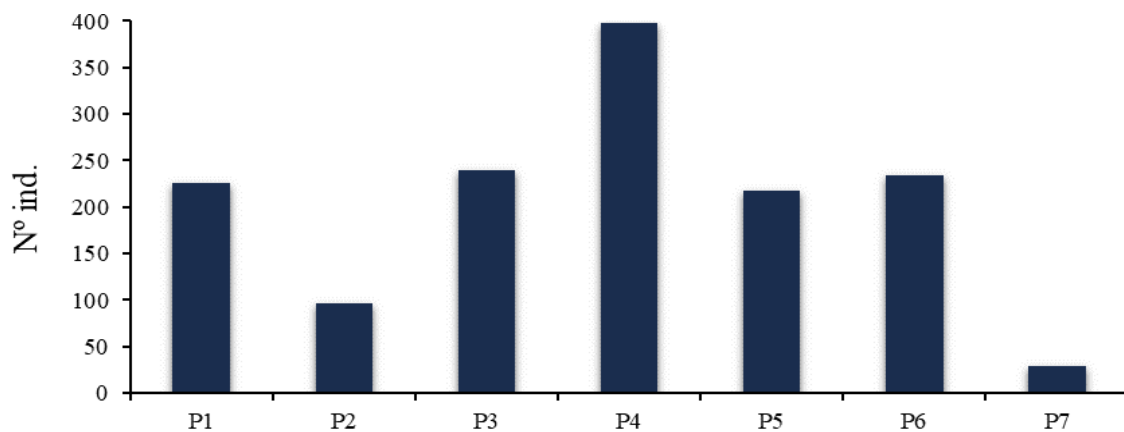
Os sítios amostrais em que foram observados maiores valores de riqueza taxonômica foram 20 famílias no P2 e 19 famílias no P3 (Fig. 17). Em relação a abundância de indivíduos (Nºind.), os sítios P4 e P3 apresentaram o maior quantitativo de *taxas* sendo, 398 e 240 indivíduos respectivamente (Fig. 8).

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			





Sítios amostrais

Figura 7- (A) Riqueza taxonômica encontrada nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



Sítios amostrais

Figura 8- Abundâncias de indivíduos (Nº ind.) encontrada nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão n°001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

ÍNDICES SHANNON-WIENER E SIMPSON

Os valores do índice de diversidade de Shannon-Wiener variaram entre 2,44 e 1,15 (Fig. 9) e do índice de diversidade de Simpson variou entre 0,88 e 0,51 (Fig.10).

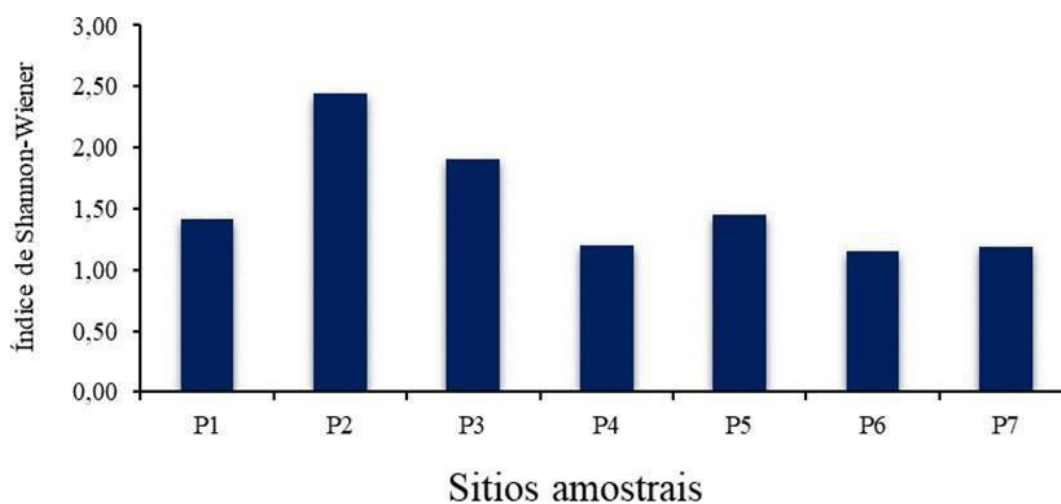


Figura 9- (A) Índice de diversidade de Shannon-Wiener, calculado para os 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

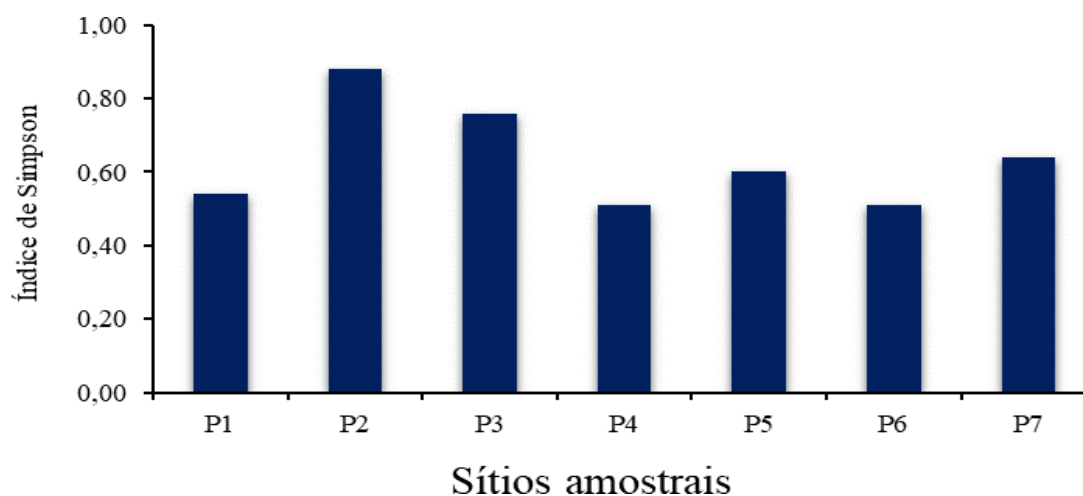








Figura 10- Índice de diversidade de Simpson calculado para os 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais		PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478		Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.				
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.				

Índices BMWP e BMWP-ASPT

As pontuações obtidas para o índice BMWP indicam que nos sítios amostrais P1, P2 e P3 a qualidade da água é “Excelente”, no sítio P4 a qualidade da água é “Regular”, nos sítios P5 e P6 a qualidade da água é “Ruim” e no sítio P7 a qualidade foi “Péssima” (Tabela 6).



Tabela 6: Classes, valores e pontuações obtidos para o índice BMWP aplicado nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Classe	Sítio amostral	Pontuação obtida	Qualidade da água	Cor indicativa
I	P1	113	Excelente	
I	P2	119	Excelente	
I	P3	95	Excelente	
III	P4	60	Regular	
IV	P5	55	Ruim	
IV	P6	51	Ruim	
V	P7	21	Péssima	



Elaborado por: autora

O índice BMWP-ASPT apresentou uma classificação “Muito boa” para a qualidade da água no sítio amostral P1, uma qualidade “Boa” para os sítios P2 e P3, e nos sítios P4, P5, P6 e P7 a classificação foi “Regular” (Tabela 7).

Tabela 7: Classes, valores e pontuações obtidos para o índice BMWP-ASPT aplicado nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

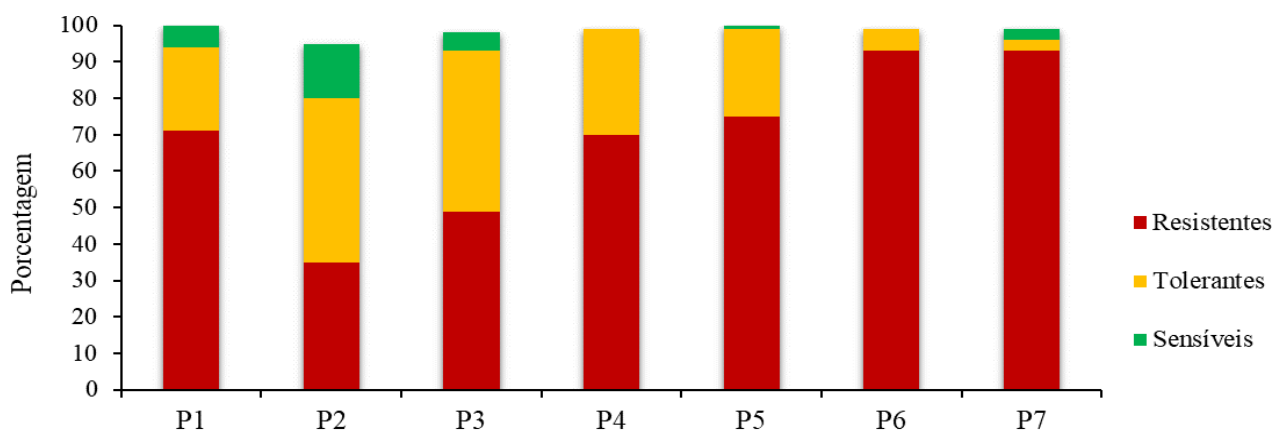
Classe	Sítio amostral	Pontuação obtida	Qualidade da água	Cor indicativa
1	P1	6,28	Muito boa	
2	P2	5,95	Boa	
2	P3	5,28	Boa	
3	P4	4,29	Regular	
3	P5	4,58	Regular	
3	P6	4,25	Regular	
3	P7	4,20	Regular	

Elaborado por: autora

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Classificação quanto a tolerância

A classificação dos macroinvertebrados bentônicos em sensíveis, tolerantes e resistentes à poluição evidenciou maior ocorrência de organismos resistentes na maioria dos sítios amostrais (P1: 71%; P3: 49%; P4: 70%; P5: 75%; P6: 93%; P7: 93%), com exceção do sítio P2 em que houve maior abundância de organismos tolerantes (45%), (Fig.11).



Sítios amostrais

Figura 11- Classificação de bioindicadores bentônicos classificados em sensíveis, tolerantes e resistentes a poluição nos 7 sítios amostrais do ribeirão Graipú, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Grupos funcionais de alimentação (GFA)

Foi observado que em todos os sítios amostrais houve predominância de coletores-catadores (P1: 81%; P2: 41%; P3: 75%; P4: 70%; P5: 69%; P6: 76% e P7: 55%) e menor dominância de Raspadores (P1: 2%; P2: 0%; P3: 0%; P4: 0%; P5: 0%; P6: 2% e P7: 0%) em relação aos demais grupos Tabela 8.



 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
	Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Tabela 8: Percentuais de grupos tróficos funcionais de macroinvertebrados bentônicos coletados nos 7 sítios amostrais na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Grupos Tróficos Funcionais	Sítios amostrais						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
% Raspadores (R)	2	0	0	0	0	2	0
% Fragmentadores (F)	1	17	1	3	0	1	0
% Coletores-filtradores (CF)	5	29	9	21	7	3	0
% Predadores (P)	11	14	15	6	24	18	45
% Coletores-catadores (CC)	81	41	75	70	69	76	55

Elaborado por: autora

Maiores valores da razão fragmentadores/coletores-catadores foram observados nos sítios amostrais 1 a 6, indicando instabilidade de substrato no canal fluvial, (Fig. 12).

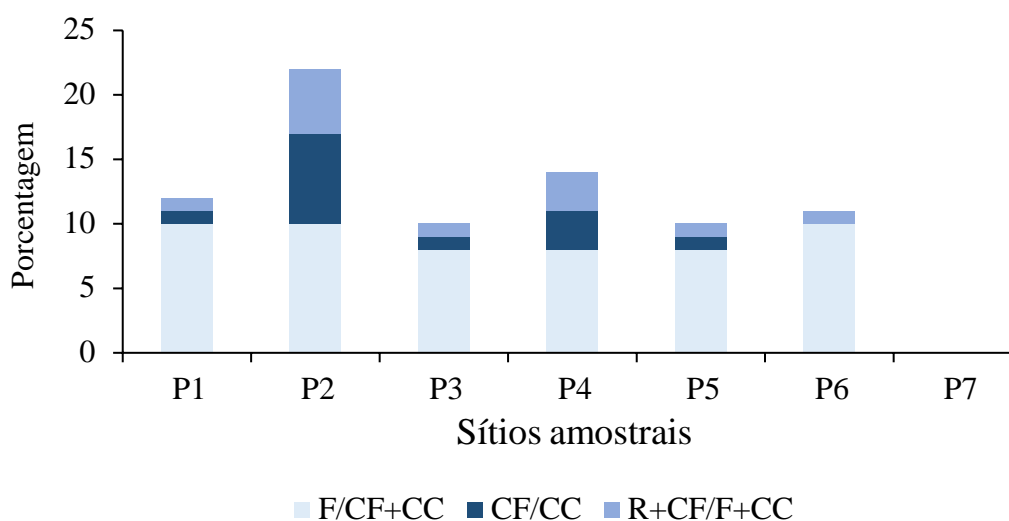




Figura 12- Avaliação dos atributos de ecossistemas nos 7 sítios amostrais na sub-bacia do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais		PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478		Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.				
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.				

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO



Como proposta para adequação da roda da restauração dos ecossistemas alterados e impactados apresentados neste estudo correlacionamos os valores do IFH (Índice de Funcionalidade de Hábitat) com cada um dos índices bióticos (BMWP, BMWP/ASPT, % Raspadores (R), % Fragmentadores (F), % coletores-filtradores (CF), % Predadores (P), % Coletores-catadores (CC), CF/ CC, F/ CF+CC e R+CF/F+CC (Tabela 9).

Tabela 9: Análise de correlação entre variáveis bióticas aplicadas aos sítios amostrais do ribeirão Graipu, PESC e R.L Cenibra, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

Índices abióticos e bióticos	Sítios amostrais							Correlação ®
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	
IFH	90	88	72	69	46	38	37	-
BMWP	113	119	95	60	55	51	21	0,93*
BMWP-ASPT	6,28	5,95	5,28	4,29	4,58	4,25	4,2	0,88*
% Raspadores (R)	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03
% Fragmentadores (F)	0,01	0,17	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,55*
% Coletores-filtradores (CF)	0,05	0,29	0,09	0,21	0,07	0,03	0,00	0,62*
% Predadores (P)	0,11	0,14	0,15	0,06	0,24	0,18	0,45	-0,69*
% Coletores-catadores (CC)	0,81	0,41	0,75	0,70	0,69	0,76	0,55	-0,07
CF/CC	0,06	0,71	0,12	0,3	0,1	0,04	0	0,59*
F/CF+CC	0,09	0,17	0,05	0,06	0	0,14	0	0,58*
R+CF/F+CC	0,09	0,5	0,12	0,29	0,1	0,06	0	0,39

As métricas de BMWP e BMWP/ASPT indicam que quanto mais conservado é o ambiente maior a pontuação dos índices e dos valores de correlação. Igualmente observa-se na análise de correlação entre % Fragmentadores e % Coletores-Filtradores, IFH maior será a abundância de organismos Fragmentadores e Coletores- Filtradores.

O inverso acontece para o grupo funcional alimentar dos Predadores, de acordo com as análises, quanto maior a pontuação do IFH, ou seja, quanto mais conservado é o local, menor será a abundância de organismos predadores. Essa avaliação também evidencia que, o grupo funcional alimentar dos Coletores Catadores e Raspadores não são bons indicadores de qualidade do ambiente, uma vez que o resultado não foi significativo.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão n°001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Os atributos do ecossistema selecionados pela análise de correlação foram: CF/CC, que significa que ambiente contém uma maior quantidade de matéria orgânica particulada fina (MOPF) suspensa, sendo transportada e estocada no sedimento formando depósitos bênticos, e F/ CF+CC, que significa que existe uma associação de fragmentadores relacionado ao funcionamento da zona ripária em função da quantidade de matéria orgânica partícula grossa (MOPG) disponível no ecossistema aquático.

Por meio da matriz de correlação (Fig. 13), pode-se observar que as correlações foram significativas entre as variáveis analisadas. Isso significa que, a medida em que o ecossistema alterado (P5) e os ecossistemas impactados (P6 e P7) forem recuperados, as respostas biológicas por meio da riqueza e abundância dos macroinvertebrados bentônicos se ampliarão de forma positiva, contribuindo para o restabelecimento dos serviços ecossistêmicos nos ecossistemas aquáticos.

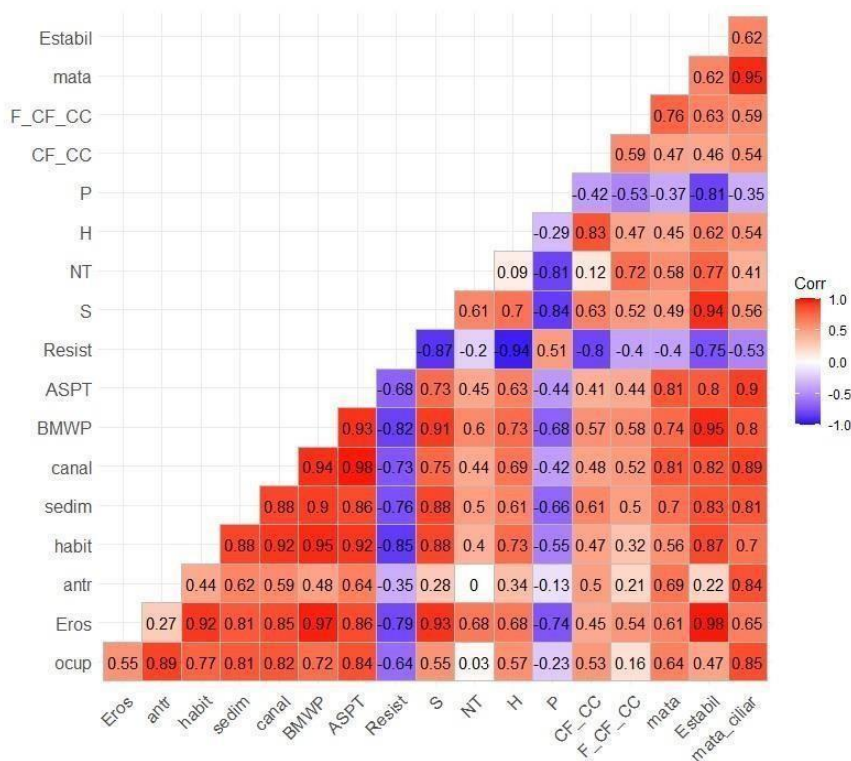




Figura 13- Matriz de correlação baseada nos atributos definidos pelo IFH propostos para a roda da recuperação.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

RODA DA RECUPERAÇÃO

Para a construção da roda da recuperação deste projeto, foi proposto uma adaptação dos subatributos baseados em, 9 atributos abióticos do Protocolo de Avaliação Rápida de condições ecológicas e Diversidade de Habitats e integridade de Zonas Ripárias (RAP) e 9 métricas bióticas, para adequação da realidade da área de estudo, como proposta de recuperação dos ecossistemas ripários para conservação e proteção dos ecossistemas aquáticos (Fig.14). Neste contexto, os subatributos utilizados foram:

Atributo 1- Ausência de ameaças: Ocupação das margens; Erosão e Alterações antrópicas.

Atributo 2- Condições físicas: Habitats, Sedimento e Estrutura do canal.

Atributo 3- Composição de espécies: BMWP, BMWP/ASPT, Organismos resistentes.

Atributo 4- Diversidade estrutural: Riqueza de espécies, Índice de Shannon, níveis tróficos.

Atributo 5- Função do ecossistema: Proporção de predadores, Relação CF/CC e Relação F/CF+CC.

Atributo 6- Trocas externas: Extensão da mata ciliar, Estabilidade das margens e Presença de mata ciliar.

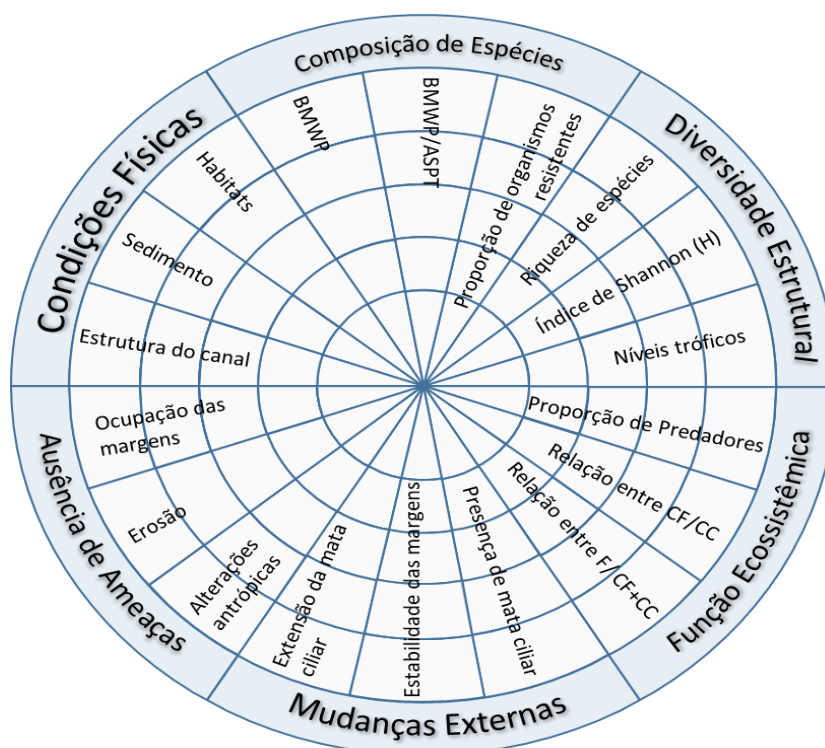






Figura 14- Roda da restauração-Adaptado da (SER, 2004).

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

A avaliação de cada atributo foi realizada com base nas semelhanças entre os ecossistemas de referência e ecossistemas a serem restaurados. Com isso, o número de “estrelas” diminui progressivamente a medida em que os ambientes são menos conservados e aumentam proporcionalmente em ambientes mais conservados, Tabela 10 (versão resumida) e Tabela 11-Anexo D (versão expandida). Por meio dessa avaliação também são estabelecidas metas, objetivos e indicadores específicos do local e os níveis de recuperação alcançados até um dado momento, e atribui-se o valor para cada subatributo após avaliação formal ou informal no local que está em processo de restauração (Adaptado- Society for Ecological Restoration, 2019).

Tabela 10- Adaptada de (McDonald et al., 2016), resumo dos padrões gerais para níveis de recuperação 1-5 estrelas.



Nº de estrelas	Resumo do resultado da recuperação (com base em um ecossistema nativo de referência adequado)
★	Prevenção da continuidade da degradação. Condições físicas em baixo estado de conservação. Baixa riqueza de espécies e diversidade estrutural reduzida. Funções ecossistêmicas em desequilíbrio e alterações significativas nas mudanças externas inerentes a mata ciliar e estabilidade das margens.
★★	Prevenção e mitigação de áreas em processos de degradação. Condições físicas ainda em baixo estado de conservação. Baixa riqueza de espécies e diversidade estrutural reduzida. Funções ecossistêmicas em desequilíbrio e alterações significativas nas mudanças externas inerentes a mata ciliar e estabilidade das margens. Melhoria da conectividade já planejada com proprietários de terra próximos.
★★★	Redução das ameaças e melhorias nas condições físicas do estado de conservação. Riqueza de espécies e diversidade estrutural moderada. Funções ecossistêmicas em iniciando o estado de equilíbrio e algumas alterações significativas nas mudanças externas inerentes a mata ciliar e estabilidade das margens. Melhoria da conectividade já planejada, evidência do retorno da funcionalidade dos ecossistemas. Evidência de melhoria da conectividade
★★★★	Um subconjunto significativo da biota característica do ecossistema está presente (representando todos os grupos de espécies), fornecendo evidência para o desenvolvimento da estrutura da comunidade e início dos processos ecossistêmicos. Estabelecimento de melhor conectividade e manejo ou mitigação das ameaças circundantes.
★★★★★	Estabelecimento de uma comunidade biótica característica do ecossistema, de tal forma que a complexidade estrutural e trófica poderá desenvolver-se sem intervenções adicionais. Início dos fluxos transfronteiriços adequados. Altos níveis de resiliência são prováveis com o retorno do regime de distúrbios apropriados, indicando condições de referência semelhantes ao projeto piloto.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Foi estabelecido a matriz de categorização por “estrelas” por meio de um cálculo para definição das pontuações de máximo e mínimo, baseados nos ecossistemas de referência, ecossistemas alterados e impactados, para classificação de cada um dos subatributos e definição do número de estrelas para cada atributo (Tabela 12), sendo que a pontuação máxima será correspondente ao um ecossistema de referência, neste estudo definido como P1 e P2.

Tabela 12- Matriz de categorização de estrelas.

Parâmetro / N° estrelas	1	2	3	4	5
Ocupação das margens	1	2	2	3	4
Erosão	1	2	2	3	4
Alterações antrópicas	1	2	2	3	4
Habitats	3	3	4	4	5
Sedimento	1	2	3	4	5
Estrutura do canal	1	2	3	4	5
BMWP	41	60	80	99	119
BMWP/ASPT	4,6	5,0	5,4	5,9	6,3
Organismos resistentes	74	73	73	72	71
Riqueza de espécie	7	10	14	17	20
Níveis tróficos	3	3	4	4	5
Índice de Shannon (H')	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4
Relação F/CF+CC	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17
Relação CF/CC	0,06	0,12	0,17	0,23	0,29
Proporção de predadores	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14
Presença de mata ciliar	1	2	3	4	5
Estabilidade das margens	1	2	3	4	5
Extensão da mata ciliar	1	2	3	4	5

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS ECOSISTEMAS DE REFERÊNCIA



Por meio da avaliação realizada utilizando o Protocolo de Avaliação de Habitats Físicos (RAP) foram obtidas 4 áreas (ecossistemas) de referência, 1 ecossistema alterado (P5) e 2 ecossistemas impactados (P6 e P7). As áreas classificadas como ecossistemas de referência (P1, P2, P3 e P4) possuem uma vegetação mais adensada, situada sob domínio de Mata Atlântica com remanescentes de vegetação nativa arbórea.

O P1 é caracterizado por ser uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral, denominado Parque Estadual Serra da Candonga com 3.302,66 ha de áreas preservadas e que tem por finalidade proteger a fauna, flora, nascentes dos rios e córregos da região. O P2 está localizado em uma Reserva Legal da Celulose Nipo-Brasileira S/A (Cenibra), que contém monocultura de eucalipto ocupando 350 ha de áreas. Mesmo sendo uma área de monocultura extensiva, este local apresentou resultados satisfatórios para os índices bióticos e avaliação de habitats físicos (RAP), classificando-o como um ecossistema de referência.

O P3 está situado na barragem de captação de água bruta do SAAE. Mesmo que a paisagem local tenha sido modificada (barreira física), esta área apresenta uma densa vegetação ripária, apresentando um ótimo estado de conservação do ecossistema ripário.

O P4 está localizado em uma área rural com pequenos remanescentes de pastagem. Mesmo sendo uma área com fragmentos de pastagem em seu entorno, este local apresentou resultados satisfatórios para os índices bióticos e avaliação de habitats físicos (RAP), classificando-o como um ecossistema de referência.

➤ Para o planejamento conceitual da restauração em áreas classificadas como alteradas e impactadas neste estudo, foram considerados ecossistemas de referência para construção e adaptação dos subatributos da roda da recuperação, apenas os sítios P1 e P2.



 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Descrição completa dos ecossistemas de referência definidos para criação e aplicação na roda da recuperação (P1 e P2)

Uma das áreas escolhidas para referência neste estudo é o Parque Estadual (PE) Serra da Candonga, que fica subordinado ao Instituto Estadual de Florestas – IEF, localizado na região do Rio Doce do Estado de Minas Gerais, no município de Guanhães. Esse parque tem por finalidade proteger a fauna e a flora regional, as nascentes dos rios e córregos da região, além de criar condições para o desenvolvimento de pesquisas e estudos. A área destinada ao Parque é de aproximadamente 3.302,66 ha (três mil trezentos e dois hectares e sessenta e seis hectares). Está situado em área de domínio da Mata Atlântica. O relevo é suavemente ondulado. A paisagem é dominada por pastagens e por remanescentes da vegetação nativa arbórea. O Parque abriga cerca de 20 nascentes de cursos d'água, que formam os córregos Barra Mansa, Barreira e Conquista. Além das oito represas construídas, existem nos cursos d'água que cortam as propriedades, cachoeiras e corredeiras naturais.

O Parque apresenta alguns indicadores ambientais que podem dificultar sua característica de fornecer propágulos para a área a ser restaurada. Em um estudo publicado que avalia a efetividade de manejo das Unidades de Conservação de proteção integral em Minas Gerais mostrou que, o PE Serra da Candonga obteve nota final de 1,81 na efetividade de manejo, onde 1 é o pior cenário e 5 o melhor cenário. Os indicadores avaliados foram: demarcação, desapropriação, recursos humanos, relação com o entorno, parcerias, recursos financeiros, proteção e fiscalização, controle de incêndios, plano de manejo e pesquisa. No indicador de demarcação o PE Serra da Candonga obteve nota 5 que é um bom resultado, mas nos indicadores de relação com o entorno e plano de manejo obteve nota 1 (LIMA et al, 2005). Os resultados do estudo apresentado acima corroboram para a necessidade de restauração da área de estudo, pois ela também pode ajudar na melhoria das condições ambientais do PE da Serra da Candonga.

A segunda área definida como ecossistema de referência é uma área de proteção ambiental (APA) da Reserva Legal da Celulose Nipo-Brasileira S/A (Cenibra), que contém 350 ha de monocultura de eucalipto plantado. Neste local, a CENIBRA desenvolve uma série de ações visando o manejo das áreas ao longo de cursos d'água, lagoas e nascentes, onde se localizam as matas ciliares.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Os trabalhos de reabilitação destes ecossistemas naturais se baseiam no plantio de mudas de espécies nativas e cuidados com as já existentes, na adubação e no controle de pragas e ervas invasoras. Somente nas margens do Rio Doce, mais de 200 mil mudas de espécies nativas foram plantados ao longo de 30 quilômetros. A Empresa mantém vigilância constante destas áreas especiais prevenindo a ocorrência de incêndios, pisoteio pelo gado e captura de animais silvestres, garantindo as condições necessárias para a reabilitação.



PLANEJAMENTO CONCEITUAL DA RESTAURAÇÃO - RODA DA RECUPERAÇÃO

DESCRIÇÃO ECOLÓGICA DA ÁREA ESCOLHIDA PARA RESTAURAÇÃO P5

O P5 classificado como ecossistema alterado, está localizado em uma área antropizada, com descarte de efluentes orgânicos e provenientes da limpeza e aspersão da via, intenso tráfego de veículos, caminhões e atividades minerárias (Fig. 15). Este local possui pouca vegetação ciliar e nenhuma mata ripária.



Figura 15- P5: Mineração - Ecossistema alterado

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

JUSTIFICATIVA CLARA DA NECESSIDADE DA RESTAURAÇÃO

A área escolhida para a restauração faz parte do bioma Mata Atlântica que se encontra fragmentada em trechos isolados. Na área de estudo a vegetação original é floresta estacional semidecidual que foi reduzida a pequenos agrupamentos devido as instalações minerárias.

De acordo com o protocolo de avaliação de habitats físicos (RAP-IFH), este local foi classificado como alterado, reforçando os resultados das métricas bióticas aplicadas e análises multivariadas de correlação dos índices, (Fig.16).

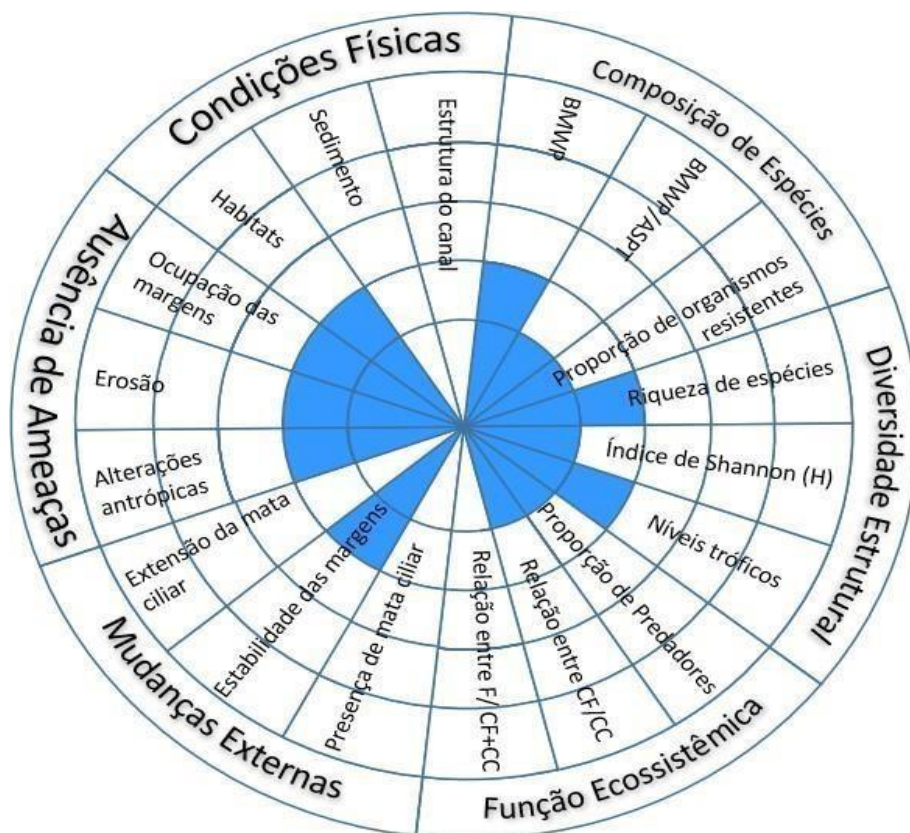






Figura 16- Aplicação da roda da restauração no P5: Mineração - Ecossistema alterado

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

AVALIAÇÃO DO PROGRESSO

Tabela 13: Avaliação do progresso de restauração ecológica no P5, classificado como alterado. Analisado no trecho alto do ribeirão Graipú, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.

CATEGORIA DE ATRIBUTO	Nível de recuperação (1-5)	Evidências para o nível de recuperação
ATRIBUTO 1. Ausência de ameaças		
Ocupação das margens	2	★ ★
Erosão	2	As ameaças foram manejadas ou mitigadas ao máximo indicando condições de referência.
Alterações antrópicas	2	
ATRIBUTO 2. Condições físicas		
Habitats	2	As condições físicas de habitats, depósito de sedimentos e estrutura do canal estão em equilíbrio, indicando condições de referência.
Sedimento	0	
Estrutura do canal	0	
ATRIBUTO 3. Composição de espécies		
BMWP	2	★
BMWP/ASPT	1	Pontuações das métricas bióticas como BMWP indicando boas condições de qualidade da água e com baixa abundância de indivíduos resistentes.
Organismos resistentes	1	
ATRIBUTO 4. Diversidade estrutural		
Riqueza de espécies	2	★ ★ Aumento da riqueza e diversidade de espécies, níveis tróficos adequados ao ecossistema, indicando condições de referência.
Índice de Shannon (H)	1	
Níveis tróficos	2	
ATRIBUTO 5. Função ecossistêmica		
Proporção de Predadores	1	Presença de 3 ou mais grupos tróficos de acordo com os atributos do ecossistema, indicando equilíbrio e condições de referência.
Relação entre CF/CC	1	
Relação entre F/CF+CC	0	
ATRIBUTO 6. Mudanças externas		
Extensão da mata ciliar	0	Extensão da mata ciliar (> ou =5), estabilidade das margens, presença de mata ciliar indicando condições de referência.
Estabilidade das margens	2	
Presença de mata ciliar	0	

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

DESCRIÇÃO ECOLÓGICA DA ÁREA ESCOLHIDA PARA RESTAURAÇÃO P6

O P6 classificado como ecossistema impactado, está localizado em uma área rural dentro de uma propriedade particular (Fig.17). O curso d'água neste local é utilizado para dessedentação de animais e em alguns trechos, recebe o descarte de efluentes domésticos.




Figura 17- P6: Área rural - Ecossistema impactado

JUSTIFICATIVA CLARA DA NECESSIDADE DA RESTAURAÇÃO

A área escolhida para a restauração também faz parte do bioma Mata Atlântica, que se encontra fragmentada em trechos isolados. Na área de estudo a vegetação original foi substituída por plantações de milho e o curso d'água foi reduzido (estreitamento do curso) para abastecimento local. A necessidade de restauração desse trecho se dá pela importância de sua contribuição durante o percurso do rio (trata-se de um trecho de recarga hídrica).

Este ecossistema recebeu essa classificação de acordo com a pontuação obtida no protocolo de avaliação de habitats físicos (RAP-IFH), e por meio dos resultados das métricas bióticas aplicadas e correlacionadas (Fig.18).

 <p>INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais</p>	<p>PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP</p>		 <p>SAAE GUANHÃES/MG</p>
<p>Código POP 001</p>	<p>Data Emissão Fev/2023</p>	<p>Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478</p>	<p>Versão n°001</p>
<p>AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.</p>			
<p>TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.</p>			

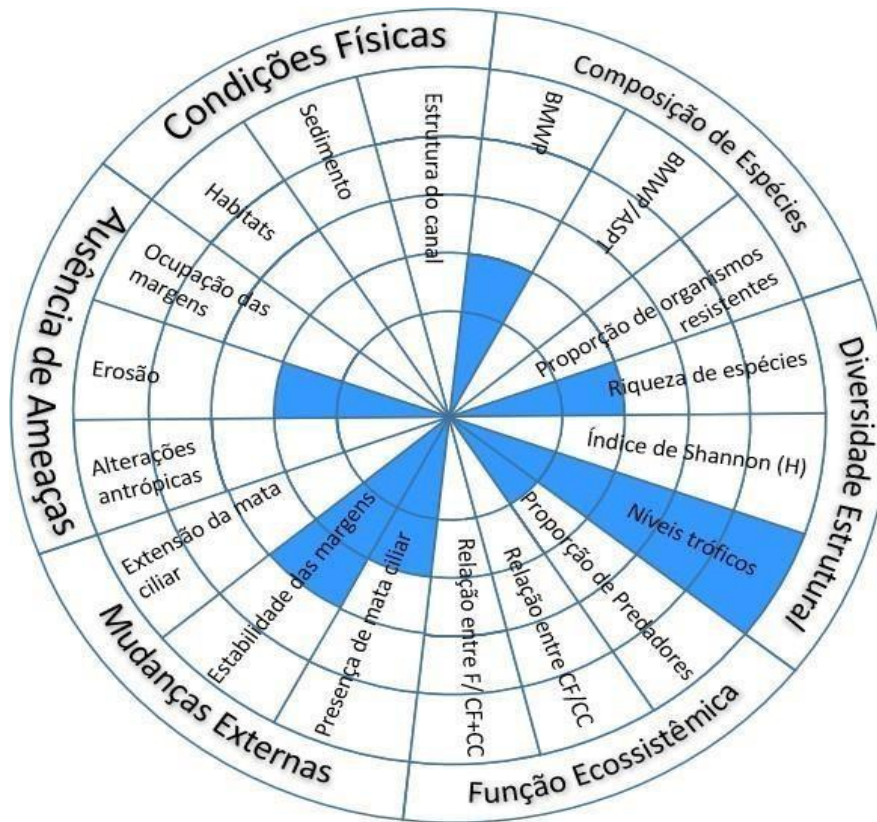






Figura 18- Aplicação da roda da restauração no P6: Área rural - Ecossistema impactado

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

AVALIAÇÃO DO PROGRESSO

Tabela 14: Avaliação do progresso de restauração ecológica no P6, classificado como impactado. Analisado no trecho alto do ribeirão Graipú, município de Guanhanes (MG), em abril de 2022.

CATEGORIA DE ATRIBUTO	Nível de recuperação (1-5)	Evidências para o nível de recuperação
ATRIBUTO 1. Ausência de ameaças		
Ocupação das margens	0	
Erosão	2	As ameaças foram manejadas ou mitigadas ao máximo indicando condições de referência.
Alterações antrópicas	0	
ATRIBUTO 2. Condições físicas		
Habitats	0	As condições físicas de habitats, depósito de sedimentos e estrutura do canal estão em equilíbrio, indicando condições de referência.
Sedimento	0	
Estrutura do canal	0	
ATRIBUTO 3. Composição de espécies		
BMWP	2	Pontuações das métricas bióticas como BMWP indicando boas condições de qualidade da água e com baixa abundância de indivíduos resistentes.
BMWP/ASPT	0	
Organismos resistentes	0	
ATRIBUTO 4. Diversidade estrutural		
Riqueza de espécies	2	<div style="text-align: center;">★★★</div> Aumento da riqueza e diversidade de espécies, níveis tróficos adequados ao ecossistema, indicando condições de referência.
Índice de Shannon (H)	0	
Níveis tróficos	5	
ATRIBUTO 5. Função ecossistêmica		
Proporção de Predadores	1	Presença de 3 ou mais grupos tróficos de acordo com os atributos do ecossistema, indicando equilíbrio e condições de referência.
Relação entre CF/CC	0	
Relação entre F/CF+CC	0	
ATRIBUTO 6. Mudanças externas		
Extensão da mata ciliar	2	<div style="text-align: center;">★</div> Extensão da mata ciliar (> ou =5), estabilidade das margens, presença de mata ciliar indicando condições de referência.
Estabilidade das margens	3	
Presença de mata ciliar	0	

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

DESCRIÇÃO ECOLÓGICA DA ÁREA ESCOLHIDA PARA RESTAURAÇÃO P7



O P7 classificado como ecossistema impactado, também está localizado em uma área rural, porém, as margens da estrada (Fig.19). O curso d’água neste local é caracterizado pelo aporte de efluentes sanitários provenientes das residências rurais, e aporte de sedimentos oriundos da estrada e do assoreamento do leito d’água.



Figura 19- P7: Montante do córrego Santa Cruz - Ecossistema impactado.

JUSTIFICATIVA CLARA DA NECESSIDADE DA RESTAURAÇÃO

A área escolhida para a restauração faz parte de pequenos remanescentes de Mata Atlântica, que se encontra fragmentada. Na área de estudo a vegetação original foi substituída por áreas “brejadas” e o curso d’água está assoreado e contaminado por efluentes sanitários. A necessidade de restauração desse trecho se dá pela importância de sua contribuição durante o percurso até o curso principal do ribeirão Graipú, o local pode ser considerado uma possível área de recarga.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão n°001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Este ecossistema recebeu essa classificação de acordo com a pontuação obtida no protocolo de avaliação de habitats físicos (RAP-IFH), e por meio dos resultados das métricas bióticas e análises multivariadas de correlação aplicadas as métricas (Fig.20).

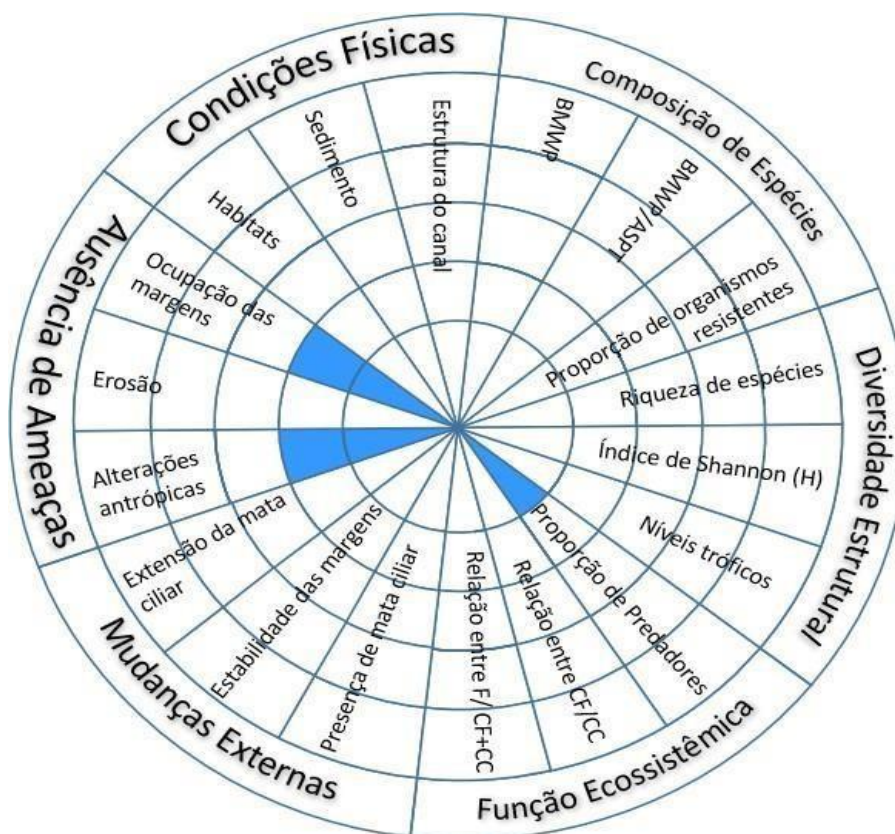






Figura 20- Aplicação da roda da restauração no P7: Montante córrego Santa Cruz- Ecossistema impactado.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

AVALIAÇÃO DO PROGRESSO

Tabela 15: Avaliação do progresso de restauração ecológica no P7, classificado como impactado. Analisado no trecho alto do ribeirão Graipú, município de Guanhães (MG), em abril de 2022.



CATEGORIA DE ATRIBUTO	Nível de recuperação (1-5)	Evidências para o nível de recuperação
ATRIBUTO 1. Ausência de ameaças		
Ocupação das margens	2	★
Erosão	0	As ameaças foram manejadas ou mitigadas ao máximo indicando condições de referência.
Alterações antrópicas	2	
ATRIBUTO 2. Condições físicas		
Habitats	0	As condições físicas de habitats, depósito de sedimentos e estrutura do canal estão em equilíbrio, indicando condições de referência.
Sedimento	0	
Estrutura do canal	0	
ATRIBUTO 3. Composição de espécies		
BMWP	0	Pontuações das métricas bióticas como BMWP indicando boas condições de qualidade da água e com baixa abundância de indivíduos resistentes.
BMWP/ASPT	0	
Organismos resistentes	0	
ATRIBUTO 4. Diversidade estrutural		
Riqueza de espécies	0	Aumento da riqueza e diversidade de espécies, níveis tróficos adequados ao ecossistema, indicando condições de referência.
Índice de Shannon (H)	0	
Níveis tróficos	0	
ATRIBUTO 5. Função ecossistêmica		
Proporção de Predadores	1	Presença de 3 ou mais grupos tróficos de acordo com os atributos do ecossistema, indicando equilíbrio e condições de referência.
Relação entre CF/CC	0	
Relação entre F/CF+CC	0	
ATRIBUTO 6. Mudanças externas		
Extensão da mata ciliar	0	Extensão da mata ciliar (> ou =5), estabilidade das margens, presença de mata ciliar indicando condições de referência.
Estabilidade das margens	0	
Presença de mata ciliar	0	

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

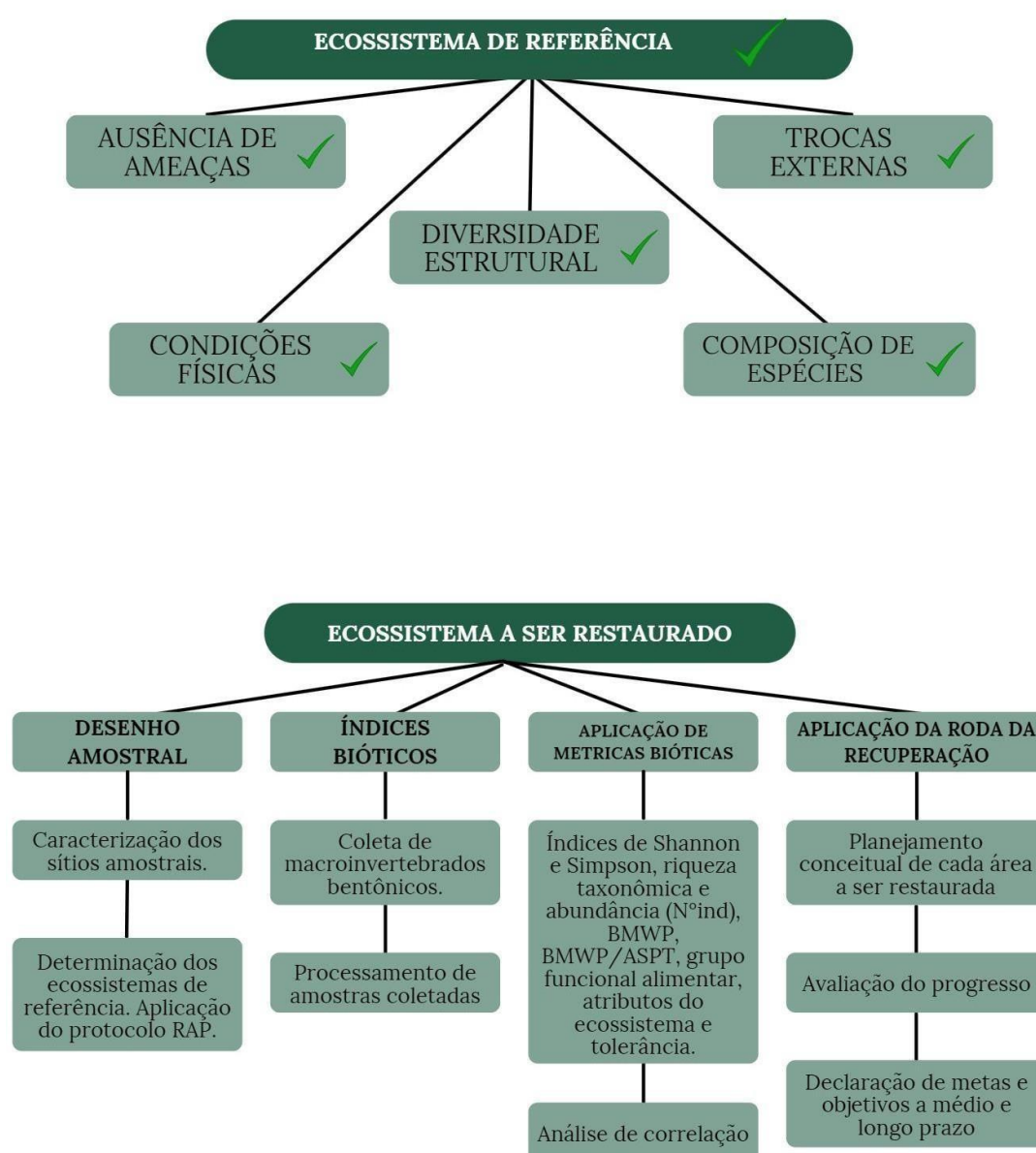
DECLARAÇÃO DAS METAS E OBJETIVOS DOS PROJETO DE RESTAURAÇÃO NOS ECOSISTEMAS ANALISADOS (P5, P6 e P7).



O objetivo do projeto é, por meio da restauração ecológica, propor medidas de isolamento do curso d'água utilizando isolamento da área, reconstrução de canais, recomposição da vegetação ripária e implantação de uma zona ripária com o intuito de proteger os ecossistemas aquáticos, proporcionando a estabilização das margens e taludes, equilíbrio térmico das águas favorecendo a vida aquática que por consequência, favorecerá a melhoria da ciclagem de nutrientes (Bernhardt & Palmer, 2007; SER, 2004). Entre as metas do Projeto de Restauração estão:

- Obter fragmentos restaurados ecologicamente em 5 anos, baseado nos ecossistemas de referência (Rosenfield & Müller, 2020);
- Recompôr a mata ciliar do curso d'água com 80% de cobertura de vegetação nativa em 3 anos (Holl & Aide, 2011);
- Aumentar a riqueza de espécies vegetais na área de implantação do projeto para uma densidade acima de 200 indivíduos por hectare em 3 anos (Holl & Aide, 2011);
- Avaliar / monitorar a resiliência e a adaptação do ecossistema restaurado, mediante aos distúrbios externos susceptíveis (Rosenfield & Müller, 2020);

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

FLUXOGRAMA- PLANEJAMENTO CONCEITUAL PARA MITIGAÇÃO DE IMPACTOS



 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2012). Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do BRASIL 2012.

ADAMS, S. M., & Greeley, M. S. (2000). Ecotoxicological indicators of water quality: Using multi-response indicators to assess the health of aquatic ecosystems. **Water, Air, and Soil Pollution**, 123(1–4), 103–115. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4369-1_10

AGOURIDIS, C. T., Wesley, E. T., Sanderson, T. M., & Newton, B. L. (2015). Aquatic Macroinvertebrates : Biological Indicators of Stream Health. **Agriculture and Natural Resources Publications**, 5, 1–5.



ALBUQUERQUE, L. B., Alonso, A. M., Aquino, F. G., Reatto, A., Sousa-Silva, J. C., Lima, J. E. F. W., De, S. A. C. S. A., & Sousa, E. S. (2010). Restauração ecológica de matas ripárias: uma questão de sustentabilidade. **Embrapa Cerrados Documentos** 295, January 2016, 77. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3032.6805>

ALLAN, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 35(2002), 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>

ATTANASIO, C. M., Gandolfi, S., Zakia, M. J. B., Junior, J. C. T. V, & Lima, W. P. (2012). A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Áreas Ripárias e Uso Da Terra Em Microbacias**, 71, 493–501.

ATTANASIO, C. M., Rodrigues, R. ., & Gandolfi, S. (2006). Adequação Ambiental De Propriedades Rurais Recuperação de Áreas Degradadas Restauração de Matas Ciliares.

BARBOUR, M. T., Faulkner, C., & Gerritsen, J. (1999). Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish. **Environmental Protection Agency**, 2, 337. <http://www.epa.gov/OWOW/monitoring/techmon.html>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

BONADA, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, 51, 495–523. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124>

BOTELHO, S. A., & Davide, A. C. (2002). Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In **Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas**, 5., Belo Horizonte (Issue June 2015).

BRUIJNZEEL, L. A. (1989). (DE) FORESTATION AND DRY SEASON FLOW IN THE TROPICS: A CLOSER LOOK. **Journal of Tropical Forest Science**, 1(3), 229–243. <https://www.jstor.org/stable/43594578>



BUREK, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B., & Wiberg, D. (2016). Water Futures and Solution. Fast Track Initiative – Final Report ADA Project Number 2725-00/2014. **Water Futures and Solution**, May, 1–113. <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>

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 Limnologica Brasiliensia**, 14(1). [http://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents1401E_files/Artigo_10_14\(1\).pdf](http://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents1401E_files/Artigo_10_14(1).pdf)

CALLISTO, M., & Gonçalves, J. F. (2002). A vida nas águas das montanhas. **Ciência Hoje**, 68–71.

CALLISTO, M., Gonçalves, J. F., & Moreno, P. (2018). Invertebrados Aquáticos como Bioindicadores. **Projeto Manuelzão - UFMG**, 12.

CALLISTO, M., GOULART, M., & MORETTI, M. (2001). Macroinvertebrados Bentônicos Como Ferramenta Para Avaliar a Saúde de Riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 6(1), 71–82. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v6n1.p71-82>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

CALLISTO, M., Macedo, D. ., Alves, C. B. M., Golgher, A. B., Agra, J. U., Magalhães, S., & Costa, I, S. (2021). Rapid ecological assessment of the water quality of the rio das Velhas. **Revista Espinhaço**, 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.5722097>

CALLISTO, M., Macedo, D. R., Castro, D. M. P., & Alves, C. B. M. (2019). Bases Conceituais para Conservação e Manejo de Bacias Hidrográficas. In **Bases Conceituais para Conservação e Manejo de Bacias Hidrográficas**. <https://doi.org/10.17648/bacias-hidrograficas>

CALLISTO, M., Massara, R. L., Linares, M. S., & Hughes, R. M. (2021). Benthic macroinvertebrate assemblages detect the consequences of a sewage spill: a case study of a South American environmental challenge. **Limnology**, 23(1), 181–194. <https://doi.org/10.1007/s10201-021-00680-0>



CARRERA, C., & Fierro, K. (2018). Macroinvertebrados Acuáticos. In **Ecociencia** (Vol. 2). <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56374.pdf>

CASTILHO, A. S. R. A., Mees, A. A. A. P. C. A., Audibert, C. R. de C. C. N. L. C. P. V. D. de S. A. E., Vilella, F. S., Mendes, F. S. M. J. I. G., Machado, J. C. C. do C. E. J. S. B. N. J. M. A. M. D., Almeida, J. N., Tannus, Fabião, J. de R., Pinto, J. F. de S. L. A. B. M. C. de M. M. L. de A., & Bartasson, M. (2010). **Plano integrado de recursos hídricos da bacia do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce: Vol. I**.

CASTRO, J. E. (2007). Water governance in the twentieth-first century. **Ambiente e Sociedade**, 10(2), 97–118. <https://doi.org/10.1590/s1414-753x2007000200007>

CETESB. (2012). Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo (CETESB (ed.)). <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/protocolo-biomonitoramento-2012.pdf>

CETESB. (2022). O problema da escassez de água no mundo. <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escassez-de-agua-no-mundo>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

CHRISTOFIDIS, D. (2003). Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade. In **Bahia análise & dados** (Edição Esp, pp. 371–382).

CIRILO, J. A. (2015). Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, 106, 45–58. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p45-58>

CLEWELL, A., Aronson, J., & Winterhalder, K. (2004). Fundamentos de Restauração Ecológica. In **Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group** (p. 17). www.ser.org

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>



CUNHA, L. H. (2020). Inequalities in water access patterns and limits of water citizenship in rural communities in the semi-arid region. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 55, 99–116. <https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73371>

DALE, V. H., & Beyeler, S. C. (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, 1(1), 3–10. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00003-6)

DEVICTOR, V., Clavel, J., Julliard, R., Lavergne, S., Mouillot, D., Thuiller, W., Venail, P., Villéger, S., & Mouquet, N. (2010). Defining and measuring ecological specialization. **Journal of Applied Ecology**, 47(1), 15–25. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01744.x>

DUDGEON, D. (2010). Prospects for sustaining freshwater biodiversity in the 21st century: Linking ecosystem structure and function. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 2(5–6), 422–430. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.09.001>

DUDGEON, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews of the**

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Cambridge Philosophical Society, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>

FARIAS, J. F., Vicente, E., & Nascimento, F. . (2015). Caracterização de sistemas ambientais como base metodológica para planejamento ambiental em bacias hidrográficas semiáridas. *1778*, 14–27. <https://doi.org/10.17551/2358-1778/geoamazonia.v3n6p14-27>

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-egu, P., Arimoro, F. O., Dyer, F. J., Harding, J. S., Jang, S., Kaufmann, P. R., Lee, S., Li, J., Macedo, D. R., Mendes, A., Yates, A. G. (2021). **The Biological Assessment and Rehabilitation of the World ’ s. Water**, 13(371), 1–6. <https://doi.org/10.3390/w13030371>

FERREIRA, W., Macedo, D., Ligeiro, R., & Callisto, M. (2015). Influência de habitats fluviais na distribuição da riqueza e na alimentação de macroinvertebrados bentônicos em riachos de cabeceira no Cerrado. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 1–8.



FERREIRA, W. C. (2006). Estabelecimento de Mata Ciliar em áreas degradada e perturbada.

FISCHER, M. L., Da Cunha, T. R., Rosaneli, C. F., Molinari, R. B., & Sganzerla, A. (2016). Crise Hídrica em publicações científicas: olhares da bioética ambiental. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 11(3), 586. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1879>

FISCHER, M. L., Stramantino, J., Lummertz, T. B., & Rosaneli, C. F. (2021, November 28). Crise hídrica: a culpa é de quem? A percepção das responsabilidades em espaço de deliberação virtual. **Caminhos de Diálogo**, 9(15), 225–247. <https://doi.org/10.7213/cd.a9n15p225-247>

FRANÇA, J. S., & Callisto, M. (2007). Coleção de macroinvertebrados bentônicos : ferramenta para o conhecimento da biodiversidade em ecossistemas aquáticos continentais. **Neotropical Biology and Conservation**, 2(1), 3–10.

FRANÇA, J. S., & Callisto, M. (2019). Monitoramento participativo de rios urbanos por estudantes-cientistas. Juliana Silva França. <https://doi.org/10.17648/ufmg-monitoramento2019>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

GALDEAN, N., Callisto, M., & Barbosa, F. (2000). Lotic ecosystems of serra do cipó, southeast brazil: Water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, 3(4), 545–552. <https://doi.org/10.1080/14634980008650691>

GALVÃO, J., & Bermann, C. (2015). Crise hídrica e energia: Conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avancados**, 29(84), 43–68. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200004>

GARCIA, J. M., Mantovani, P., Gomes, R. C., Longo, R. M., Demanboro, A. C., & Bettine, S. do C. (2018). Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade & Natureza**, 30(1), 228–254. <https://doi.org/10.14393/sn-v30n1-2018-10->

GOULART, M., & Callisto, M. (2003). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em Estudos de Impacto Ambiental. **Revista Da FAPAM**.



HAMADA, N., Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (2018). Keys to Neotropical Hexapoda. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates.

HEPP, L. U., Milesi, S. V., Biasi, C., & Restello, R. M. (2007). Macroinvertebrados Bentônicos Como Bioindicadores. **XVII Sim. Brasil. de Recursos Hidricos**, 1–12.

HERLIHY, A. T., Paulsen, S. G., Van Sickle, J., Stoddard, J. L., Hawkins, C. P., & Yuan, L. L. (2008). Striving for consistency in a national assessment: The challenges of applying a reference-condition approach at a continental scale. **Journal of the North American Benthological Society**, 27(4), 860–877. <https://doi.org/10.1899/08-081.1>

HOLL, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, 261(10), 1558–1563. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>

HOLT, E. A. (2010). Bioindicadores: Usando Organismos para Medir Impactos Ambientais. **Nature Education Knowledge**. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicators-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310/>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

HUGHES, R. M., Dunham, S., Maas-Hebner, K. G., Yeakley, J. A., Harte, M., Molina, N., Shock, C. C., & Kaczynski, V. W. (2014). A Review of Urban Water Body Challenges and Approaches: (2) Mitigating Effects of Future Urbanization. **Fisheries**, 39(1), 30–40. <https://doi.org/10.1080/03632415.2014.866507>

IBGE. (2019). Dados do IBGE: Município de Guanhães. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Secretaria Especial de Articulação Social. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/guanhaes/panorama>

IBGE. (2022). Estimativa de população_ Município de Guanhães_Avaliação em 2021. **IBGE**. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/guanhaes/panorama>

IGAM. (2020a). Comitês de Bacias Hidrograficas do Suaçui/MG. <https://www.cbhsuacui.org.br/bacia>



IGAM. (2020b). Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Suaçuí - DO4. http://comites.igam.mg.gov.br/images/mapas/Mapas_PDF/Localizacao_GD1_A3.pdf

JUNQUEIRA, M. V, Alves, K. C., Paprocki, H., Campos, M. S., Carvalho, M. D., Mota, H. R., & Rolla, M. E. (2018). Índices bióticos para avaliação de qualidade de água de rios tropicais – síntese do conhecimento e estudo de caso: Bacia do alto rio Doce. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), 49, 15–33. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820180322>

JUNQUEIRA, M. V, Amarante, M. C., Dias, C. F. S., & França, E. S. (2000). Biomonitoramento da qualidade das águas da bacia do Alto Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados. In **Acta Limnologica Brasiliensia** (Vol. 12, Issue 1, pp. 73–87).

KARR, J. R. (1999). Defining and measuring river health. **Freshwater Biology**, 41(2), 221–234. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00427.x>

KING, R. S., & Baker, M. E. (2014). Use, Misuse, and Limitations of Threshold Indicator Taxa Analysis (TITAN) for Natural Resource Management. In **Application of Threshold Concepts in Natural Resource Decision Making** (Vol. 9781489980, pp. 1–324). <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8041>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

LEITAO, R. P., Zuanon, J., Villéger, S., Williams, S. E., Baraloto, C., Fortune, C., Mendonça, F. P., & Mouillot, D. (2016). Rare species contribute disproportionately to the functional structure of species assemblages. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1828). <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0084>

LEITE, F. P., de Barros, N. F., Aguilar Sans, L. M., & Fabres, A. S. (1997). Soil water regime under stand of eucalypts, natural forest and pasture. In *Revista árvore* (Vol. 21, Issue 4, pp. 455–462).

LÓPEZ-LÓPEZ, E., & Sedeño-Díaz, J. E. (2015). Biological Indicators of Water Quality: The Role of Fish and Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality. In *Environmental Indicators* (pp. 643–661). **Springer Netherlands**. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9499-2_37



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>

MACK, R., Simberloff, D., Lonsdale, W. M., Evans, H., Michael, C., & Bazzaz, Fakhri, A. (2000). Issues in Ecology. *Ecological Application*, 89(4), 689–710. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)0102.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)0102.0.CO;2)

MAGURRAN, A. E. (1999). Development of indicators of biological diversity. *Nature*, 202(4927), 14. <http://www.nature.com/nature/insights>

MAGURRAN, A. E. (2013). *Measuring Biological Diversity* (Blackwell). <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0632056339.html>

MAPBIOMAS. (2020). *MapBiomas_Delimitação territorial em Guanhães*. <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

MARTINS, Macedo & Callisto ; (2020). A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco risco relativo e extensão de perda de biodiversidade na bacia do rio pandeiros, tributário do rio São Francisco. **III Simpósio Da Bacia Hidrográfica Do Rio São Francisco**, 8. <http://www.dgi.inpe.br>

MCDONALD, T., Gann, G. D., Jonson, J., & Dixon, K. W. (2016). Padrões internacionais para a prática da restauração ecológica - Incluindo princípios e conceitos chaves. In **SER- Society for Ecological Restoration**: Vol. 1º. www.ser.org

MERRIT, R. W., Cummins, K. W., & Campbell, E. (2014). Uma abordagem funcional para a caracterização de Riachos Brasileiros. In N. Hamada, J. L. Nessimian, & R. B. Querino (Eds.), **Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia** (p. 724).

MERRITT, R. W., Cummins, K. W., & Campbell, E. Y. (2014). Uma Abordagem Funcional para a Caracterização e Riachos Brasileiros. **Insetos Aquáticos Na Amazônia Brasileira: Taxonomia, Biologia e Ecologia**, 69–87.



MONDY, C. P., Muñoz, I., & Dolédec, S. (2016). Life-history strategies constrain invertebrate community tolerance to multiple stressors: A case study in the Ebro basin. **Science of the Total Environment**, 572, 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.227>

MONTEIRO, T. R., Oliveira, L. G., & Godoy, B. S. (2008). Biomonitoramento da qualidade de água utilizando macroinvertebrados bentônicos: adaptação do índice biótico BMWP à bacia do rio meia ponte-go. *oecol. bras.*, 12(3), 553–563.

MORAIS, L., Oliveira Sanches, B., Santos, G. B., Kaufmann, P. R., Hughes, R. M., Molozzi, J., & Callisto, M. (2017). Assessment of disturbance at three spatial scales in two large tropical reservoirs. **Journal of Limnology**, 76(2), 240–250. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1547>

MORENO, P., & Calisto, M. (2010). Insetos Aquáticos indicam saúde dos cursos d’água. **In Scientific American Brasil** (p. 2).

MUGNAI, R., Nessimian, J. L., & Baptista, D. F. (2010). Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro (Technical).

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

MUSTOW, S. E. (2002). Biological monitoring of rivers in Thailand: Use and adaptation of the BMWP score. **Hydrobiologia**, 479, 191–229. <https://doi.org/10.1023/A:1021055926316>.

MYERS, N., Mittermeyer, R. A., Mittermeyer, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>.

NEIMAN, R. J., Décamps, H., & McClain, M. . (2005). Riparia: Ecology, Conservation, and **Management of Streamside Communities (Elsevier)**.

ONU. (2021a). Começa a Década da ONU da Restauração de Ecossistemas.

ONU. (2021b). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)- Agenda 2030. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Secretaria Especial de Articulação Social. <https://odsbrasil.gov.br/>



ORMEROD, S. J., Dobson, M., Hildrew, A. G., & Townsend, C. R. (2010). Multiple stressors in freshwater ecosystems. **Freshwater Biology**, 55(SUPPL. 1), 1–4. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02395.x>

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M., Silva, J. M. S., Piotrowski, I., Lopes, G. R., Galetti, G., Franco, F. S., & Alvares, S. M. R. (2015). Protocolo De Monitoramento Da Funcionalidade Ecológica De Áreas De Restauração. November, 14. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2324.1681>

RAMÍREZ, A., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: A critical analysis and review of existing literature. **Revista de Biologia Tropical**, 62(April), 155–167. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15785>

RESH, V. H. (2008). Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. **Environmental Monitoring and Assessment**, 138(1–3), 131–138. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9749-4>

RIBEIRO, W. C., Santos, C. L. S., & Silva, L. P. B. (2019). Conflito pela água, entre a escassez e a abundância: Marcos teóricos. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, 1(2), 11–37.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

<https://doi.org/10.48075/amb.v1i2.23619>

RODRIGUES, A. S. D. L., Malafaia, G., & Castro, P. D. T. A. (2008). Avaliação ambiental de trechos de rios na região de Ouro Preto-MG através de um protocolo de avaliação rápida. **Revista de Estudos Ambientais**, 10(1), 74–83. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2008v10n1p74-83>

RODRIGUES, R. R., Lima, R. A. F., Gandolfi, S., & Nave, A. G. (2009). On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, 142(6), 1242–1251. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.008>



RODRIGUEZ, G., Fikáček, M., Minoshima, Y. N., Archangelsky, M., & Torres, P. L. M. (2021). Going underwater: Multiple origins and functional morphology of piercing-sucking feeding and tracheal system adaptations in water scavenger beetle larvae (Coleoptera: Hydrophiloidea). **Zoological Journal of the Linnean Society**, 193(1), 1–30. <https://doi.org/10.1093/zoolinnea/zlaa132>

ROSENBERG, D. ., & Resh, V. . (1993). Freshwater Biomonitoring Using Individual Organisms, Populations, and Species Assemblages of Benthic Macroinvertebrates. **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates.**, 40, 158. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aqc.3270040110>

ROSENBERG, D. M., & Resh, V. . (2013). Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. (eds.). **Journal of Applied Probability**, 32(1), 10–12.

ROSENFELD, M. F., & Müller, S. C. (2020). Functional ecology as a tool for planning and monitoring ecosystems restoration. **Oecologia Australis**, 24(3), 550–565. <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2403.02>

RUIZ-JAEN, M. C., & Aide, T. M. (2005). Restoration success: How is it being measured? **Restoration Ecology**, 13(3), 569–577. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2005.00072.x>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

RUIZ-JAÉN, M. C., & Aide, T. M. (2005). Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. **Forest Ecology and Management**, 218(1–3), 159–173. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.07.008>

SANTANA, M. P. M., & Dantas, J. O. (2014). Insetos aquáticos como indicadores da qualidade dos ecossistemas dulcícolas do Estado de Sergipe. **Revista Multidisciplinar Da Saúde**, 2–18. <https://revistas.anchieta.br/index.php/RevistaMultiSaude/article/download/994/878>

SANTOS, I. G. A., & Rodrigues, G. G. (2015). Colonização de macroinvertebrados bentônicos em detritos foliares em um riacho de primeira ordem na Floresta Atlântica do nordeste brasileiro. *Iheringia - Serie Zoologia*, 105(1), 84–93. <https://doi.org/10.1590/1678-4766201510518493>

SÃO PAULO. (2009). Preservação e recuperação das nascentes de água e vida. In *Cadernos da Mata Ciliar* (Vol. 1).



SER. (2004). Fundamentos de Restauração Ecológica SER 2. In *Sociedade Internacional para Restauração Ecológica* (p. 18). www.ser.org

SER. (2019). Society for Ecological Restoration. *Restoration Ecology Journal*. <https://www.ser.org/page/RestorationEcology>

SILVA, F. ., Fushita, A. ., Santino, M. B. ., Júnior, I. ., & Júnior, J. C. . (2021). Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 1626–1653. homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

SIMBERLOFF, D., Martin, J. L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B., García-Berthou, E., Pascal, M., Pyšek, P., Sousa, R., Tabacchi, E., & Vilà, M. (2013). Impacts of biological invasions: What’s what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. (2019). Normas Internacionais para a prática da Restauração Ecológica. SER- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. <https://seraustralasia.com/wheel/index.html>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

SOS Mata Atlântica. (2021). Fundação SOS Mata Atlântica. Mata Atlântica Como “Hotspot.” <https://www.sosma.org.br/conheca/mata-atlantica/>. Acesso em 23/01/2023.

SOUZA, M. J. H. de, Ribeiro, A., Leite, H. G., Leite, F. P., & Minuzzi, R. B. (2006). Relação entre disponibilidade hídrica e produtividade do eucalipto em diferentes idades, em Guanhães, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10(3), 629–638. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662006000300014>

STARK, J., Boothroyd, I., Harding, J., Maxted, J., & Scarsbrook, M. (2001). Protocols for sampling macroinvertebrates in wadeable streams (Issue 1).



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(4), 1267–1276. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)0162.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)0162.0.CO;2)

TERRA, B. D. F., Hughes, R. M., Francelino, M. R., & Araújo, F. G. (2013). Assessment of biotic condition of atlantic rain forest streams: A fish-based multimetric approach. **Ecological Indicators**, 34, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.05.001>

THOMPSON, S. A., Thompson, G. G., & Withers, P. C. (2008). Rehabilitation index for evaluating restoration of terrestrial ecosystems using the reptile assemblage as the bio-indicator. **Ecological Indicators**, 8(5), 530–549. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.07.001>

TILMAN, D., Isbell, F., & Cowles, J. M. (2014). Biodiversity and ecosystem functioning. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 45, 471–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091917>

TONELLO, K., Dias, H., Souza, A., Ribeiro, C., Firme, D., & Leite, F. (2009, April 30). Diagnóstico hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, município de Guanhães, MG, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 4(1), 156–168. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.80>



 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

URAMOTO, K., Walder, J. M. M., & Zucchi, R. A. (2005). Análise quantitativa e distribuição de populações de espécies de anastrepha (Diptera: Tephritidae) no Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. **Neotropical Entomology**, 34(1), 33–39. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000100005>

USEPA. (1990). Biological Criteria: National Program Guidance (Issue April).

VARGAS, J., & Júnior, P. (2012). Aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida na Caracterização da Qualidade Ambiental de Duas Microbacias do Rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 17(1), 161–16. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n1.p161-16>



WHITTIER, T. R., Stoddard, J. L., Larsen, D. P., & Herlihy, A. T. (2007). Selecting reference sites for stream biological assessments: Best professional judgment or objective criteria. **Journal of the North American Benthological Society**, 26(2), 349–360. [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2007\)26.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2007)26.2.0.CO;2)

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
	Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

ANEXO A: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats



Quadro 1: Quadro 1: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EUA) (EPA, 1987). (Obs.: 4 pontos (situação natural), 2 e 0 pontos (situações leve ou severamente alteradas)).

<i>Descrição do Ambiente</i>			
<i>Localização:</i>			
<i>Data de Coleta:</i> / /		<i>Hora da Coleta:</i>	
<i>Tempo (situação do dia):</i>			
<i>Modo de coleta (coletor):</i>			
<i>Tipo de Ambiente:</i> Córrego () Rio ()			
<i>Largura média:</i>			
<i>Profundidade média:</i>			
<i>Temperatura da água:</i>			
PARÂMETROS	PONTUAÇÃO		
	4 pontos	2 pontos	0 ponto
<i>1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principalatividade)</i>	<i>Vegetação natural</i>	<i>Campo pastagem/Agricultura/ Monocultura/ Reflorestamento</i>	<i>Residencial/ Comercial/ Industrial</i>
<i>2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito</i>	<i>Ausente</i>	<i>Moderada</i>	<i>Acentuada</i>
<i>3. Alterações antrópicas</i>	<i>Ausente</i>	<i>Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)</i>	<i>alterações de origem industrial/ urbana (fábricas, siderurgias, canalização, retilinização do curso do rio)</i>
<i>4. Cobertura vegetal no leito</i>	<i>Parcial</i>	<i>Total</i>	<i>Ausente</i>
<i>5. Odor da água</i>	<i>Nenhum</i>	<i>Esgoto (ovo podre)</i>	<i>óleo/industrial</i>
<i>6. Oleosidade da água</i>	<i>Ausente</i>	<i>Moderada</i>	<i>Abundante</i>
<i>7. Transparência da água</i>	<i>Transparente</i>	<i>turva/cor de chá-forte</i>	<i>opaca ou colorida</i>
<i>8. Odor do sedimento (fundo)</i>	<i>Nenhum</i>	<i>Esgoto (ovo podre)</i>	<i>óleo/industrial</i>
<i>9. Oleosidade do fundo</i>	<i>Ausente</i>	<i>Moderado</i>	<i>Abundante</i>
<i>10. Tipo de fundo</i>	<i>pedras/cascalho</i>	<i>Lama/areia</i>	<i>cimento/canalizado</i>

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais		PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão n°001	
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.				
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.				

Quadro 2: Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, modificado do protocolo de Hannaford et al. (1997). (Obs.: 5 pontos (situação natural), 3, 2 e 0 pontos (situações leve ou severamente alteradas).



PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 ponto
11. Tipos de fundo	Mais de 50% com habitats diversificados; pedaços de troncos submersos; cascalho ou outros habitats estáveis.	30 a 50% de habitats diversificados; habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos.	10 a 30% de habitats diversificados; disponibilidade de habitats insuficiente; substratos frequentemente modificados.	Menos que 10% de habitats diversificados; ausência de habitats óbvia; substrato rochoso instável para fixação dos organismos.
12. Extensão de rápidos	Rápidos e corredeiras bem desenvolvidas; rápidos tão largos quanto o rio e com o comprimento igual ao dobro da largura do rio.	Rápidos com a largura igual à do rio, mas com comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Trechos rápidos podem estar ausentes; rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Rápidos ou corredeiras inexistentes.
13. Frequência de rápidos	Rápidos relativamente frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 5 e 7.	Rápidos não frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 7 e 15.	Rápidos ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 15 e 25.	Geralmente com lâmina d'água "lisa" ou com rápidos rasos; pobreza de habitats; distância entre rápidos dividida pela largura do rio maior que 25.
14. Tipos de substrato	Seixos abundantes (prevalecendo nascentes).	Seixos abundantes; cascalho comum.	Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns seixos presentes.	Fundo pedregoso; seixos ou lamoso.
15. Deposição de lama	Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama.	Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama.	Entre 50 e 75% do fundo coberto por lama.	Mais de 75% do fundo coberto por lama.
16. Depósitos sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama; ausência de deposição nos remansos.	Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente como aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30% do fundo afetado; suave deposição nos remansos.	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens; entre 30 a 50% do fundo afetado; deposição moderada nos remansos.	Grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens; mais de 50% do fundo modificado; remansos ausentes devido à significativa deposição de sedimentos.
17. Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de ponte evidência de modificações há mais de 20 anos.	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado.	Margens modificadas; acima de 80% do rio modificado.
18 Características de fluxos das águas	Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio; mínima quantidade de substrato exposta.	Lâmina d'água acima de 75% do canal do rio; ou menos de 25% do substrato exposto.	Lâmina d'água entre 25 e 75% do canal do rio, e/ou maior partedo substrato nos "rápidos" exposto.	Lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.
19. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas; mínima evidência de deflorestamento; todas as plantas atingindo a altura "normal".	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa; deflorestamento evidente mas não afetando o desenvolvimento da vegetação; maioria das plantas atingindo a altura "normal".	Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa; deflorestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada; menos da metade das plantas atingindo a altura "normal".	Menos de 50% da mata ciliar nativa; deflorestamento muito acentuado.
20 Estabilidade das margens	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% da margem afetada.	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.	Moderadamente instável; entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.	Instável; muitas áreas com erosão; frequentes áreas descobertas nas curvas do rio; erosão óbvia entre 60 e 100% da margem.
21. Extensão de mata ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18 m; sem influência de atividades antrópicas (agropecuária, estradas, etc.).	Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m; mínima influência antrópica.	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m; influência antrópica intensa.	Largura da vegetação ripária menor que 6 m; vegetação restrita ou ausente devido à atividade antrópica.
22. Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos pelo leito.	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídas no rio, substrato com perifiton.	Algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras ou alguns remansos, perifiton abundante e biofilme.	Ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos macrófitas (p.ex. aguapé).

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

ANEXO B: Escala geral por atributos, roda da recuperação.



Tabela 3- Escala geral de recuperação 1-5 estrelas interpretada no contexto dos seis atributos-chave do ecossistema usados para quantificar o progresso em direção a uma condição autorregulada.

ATRIBUTOS	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Ausência de ameaças	Isolamento dos fatores de degradação e estabilidade na posse e manejo da terra.	Ameaças de áreas circundantes começando a ser manejadas ou mitigadas.	Todas as ameaças circundantes manejadas ou minimamente mitigadas.	Todas as ameaças circundantes manejadas ou medianamente mitigadas.	Todas as ameaças manejadas ou mitigadas ao máximo.
Condições físicas	Remediação de problemas físicos e químicos graves (e.g. contaminação, erosão, compactação).	Propriedades químicas e físicas do substrato (e.g. pH, salinidade) a caminho de estabilizar dentro dos valores naturais.	Substrato estabilizado dentro dos valores naturais e sustentando o crescimento da biota característica.	Substrato estabilizado nas condições adequadas para a continuidade do crescimento e recrutamento da biota característica do ecossistema.	Substrato exibindo propriedades físicas e químicas muito semelhantes ao ecossistema de referência com evidências de que pode sustentar espécies e processos indefinidamente.
Composição de espécies	Espécies nativas colonizando a área (e.g. ~2% das espécies do ecossistema de referência). Nenhuma ameaça para os nichos de regeneração ou processos sucessionais.	Diversidade genética das espécies estabelecida e um pequeno subconjunto das espécies nativas características estabelecendo-se na área (e.g. ~10% da referência). Baixa ameaça de espécies exóticas invasoras ou espécies indesejadas no local.	Subconjunto das espécies nativas (e.g. ~25% da referência) estabelecendo em porção significativa da área. Pouquíssima ameaça local de espécies indesejadas.	Diversidade significativa da biota característica (e.g. 60% da referência) presente no local e representando uma vasta diversidade de grupos de espécies. Nenhuma ameaça local de espécies indesejadas.	Alta diversidade de espécies características (e.g. >80% da referência) no local, com elevada similaridade ao ecossistema de referência. Melhora do potencial de colonização de mais espécies ao longo do tempo.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Diversidade estrutural	Um ou nenhum estrato presente e nenhum padrão espacial ou complexidade trófica em relação ao ecossistema de referência.	Mais estratos presentes, mas padrões espaciais e complexidade trófica dissimilares ao ecossistema de referência.	Maioria dos estratos presentes e padrões espaciais e complexidade trófica de alguma maneira semelhantes à área de referência.	Todos os estratos presentes. Padrão espacial evidente e desenvolvimento de complexidade trófica significativa em relação ao ecossistema de referência.	Todos os estratos presentes e elevado padrão espacial e complexidade trófica. A complexidade e os padrões espaciais são capazes de se auto-organizar para assemelhar-se muito ao ecossistema de referência no futuro.
Funcionalidade do ecossistema	Substrato e hidrologia estão somente nos estágios iniciais, sendo capazes de desenvolver funções semelhantes ao ecossistema de referência no futuro.	Aumento no potencial do substrato e da hidrologia para uma gama maior de funções, incluindo ciclagem de nutrientes e provisão de habitat/recursos para outras espécies.	Evidência de início de funções - e.g. ciclagem de nutrientes, infiltração de água e provisão de recursos de habitat para uma ampla gama de espécies.	Evidência significativa de início de funções e processos chave, incluindo reprodução, dispersão e recrutamento de espécies.	Evidência considerável das funções e processos em uma trajetória segura em direção ao ecossistema de referência e evidência de provável resiliência do ecossistema após o restabelecimento dos regimes de distúrbio apropriados.
Trocas externas	Potencial para trocas (e.g. de espécies, genes, água, incêndio) com a paisagem circundante ou com o ambiente aquático definido.	Conectividade para aumentar as trocas positivas (e minimizar as negativas) obtida através da cooperação com os atores envolvidos e configuração do local.	Aumento contínuo da conectividade e trocas entre a área e o ambiente externo começando a ficar evidentes (e.g. mais espécies, fluxos, etc.).	Elevado nível de conectividade com outras áreas naturais estabelecidas, atentando para o controle de pragas e outros distúrbios indesejados.	Evidências que o potencial para trocas externas é muito semelhante à referência e estabelecimento de acordos de manejo integrado de longo prazo em um contexto maior da paisagem.



Nota: Esta escala de 5 estrelas representa um gradiente cumulativo de similaridade muito baixa a muito alta em relação ao ecossistema de referência. Esta escala fornece somente um modelo genérico, requerendo que os usuários desenvolvam indicadores e métricas de monitoramento específicos para seus ecossistemas e sub-atributos.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
	Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

ANEXO C: Composição taxonômica distribuída por família de macroinvertebrado.

Tabela 5: Composição taxonômica distribuída por sítio amostral com base nos 7 sítios amostrados.



Ordem/Classe/Subclasse	Táxons	Sítios amostrais					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	7	11	10	0	0	0
	Leptohyphidae	4	0	0	0	0	0
	Baetidae	1	1	81	0	0	0
	Caenidae	0	0	0	1	0	3
	Leptoceridae	10	1	4	1	0	0
Plecoptera	Gripopterygidae	1	0	0	0	0	0
	Perlidae	2	1	0	0	0	0
Trichoptera	Helichopsychidae	3	0	0	0	0	0
	Hydropsychidae	4	13	8	66	0	1
	Odontoceridae	2	0	2	0	0	0
	Hydroptilidae	0	0	1	0	0	0
	Calamoceratidae	0	1	0	0	0	0
Odonata	Polycentropodidae	0	2	0	0	0	0
	Corduliidae	0	0	0	0	2	0
	Gomphidae	10	0	1	0	0	0
	Libellulidae	0	1	3	0	0	0
	Calopterygidae	1	0	0	0	0	0
	Perilestidae	0	0	0	0	0	1
Heteroptera	Aeshnidae	0	1	1	0	0	0
	Veliidae	0	2	0	0	0	0
	Naucoridae	7	0	0	3	0	0
	Mesoveliidae	0	0	15	0	0	0
	Helotrephidae	0	0	0	1	0	0
Coleoptera	Gerridae	0	0	1	0	0	0
	Hydrophilidae	0	0	0	0	19	2
	Elmidae	16	4	1	6	0	0
Megaloptera	Hydrophiloidea	0	5	0	0	0	0
	Corydalidae	1	1	0	0	0	0
Diptera	Chaoboridae	0	0	3	4	0	0
	Tipulidae	0	12	0	10	0	2
	Chironomidae	152	10	80	269	135	158
	Empididae	0	0	0	6	7	0
	Ceratopogonidae	4	1	4	4	10	2
	Psychodidae	0	0	0	1	1	0
	Simuliidae	0	2	2	19	6	2
Oligochaeta	Oligochaeta	0	22	13	1	14	17
Gastropoda	Planorbidae	1	0	0	0	0	5
Bivalvia	Hyriidae	0	0	1	0	9	3
Hirudinida	Glossiphoniidae	0	0	9	5	13	38
Acari	Hydracarina	0	1	0	1	1	0
Lepidoptera	Pyralidae	0	4	0	0	1	0
Abundância total (ind)		226	96	240	398	218	234

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

ANEXO D: Escala geral por atributos, roda da recuperação (expandido e adaptado).

Tabela 11- Escala geral de recuperação 1-5 estrelas interpretada no contexto dos seis atributos-chave do ecossistema usados para quantificar o progresso em direção a uma condição autorregulada.



ATRIBUTOS	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Ausência de ameaças	Ausência de ações de manejo e proteção para minimização dos fatores de degradação e estabilidade da terra.	Ameaças de áreas circundantes começando a ser manejadas ou mitigadas (10%)	Ao menos 50% das ameaças circundantes manejadas ou minimamente mitigadas.	Pelo menos 80% das ameaças circundantes manejadas ou medianamente mitigadas.	Todas as ameaças manejadas ou mitigadas ao máximo indicando condições de referência.
Condições físicas	Ausência de ações de manejo e proteção para minimização dos fatores de degradação e estabilidade da terra.	Leito do curso d'água danificado (com baixa diversidade de habitats) e/ou com início de processos erosivos e interferências no canal.	Ao menos 50% das condições físicas de habitats, depósito de sedimentos e estrutura do canal não impactam o ecossistema aquático.	Pelo menos 80% das condições físicas de habitats, depósito de sedimentos e estrutura do canal não impactam o ecossistema aquático.	Todas as condições físicas de habitats, depósito de sedimentos e estrutura do canal estão em equilíbrio, indicando condições de referência.
Composição de espécies	Pontuações de métricas bióticas como BMWP menor ou igual a 41 e BMWP/ASPT inferiores a <4,6, indicando "PÉSSIMA" qualidade da água e alta abundância de indivíduos resistentes.	Pontuações de métricas bióticas como BMWP entre 42-60 e BMWP/ASPT entre 4,7-5,0, indicando que a qualidade da água está "RUIM" e alta abundância de indivíduos resistentes.	Pontuações de métricas bióticas como BMWP entre 61-80 e BMWP/ASPT entre 5,1- 5,4, indicando que a qualidade da água está "REGULAR" e alta abundância de indivíduos resistentes.	Pontuações de métricas bióticas como BMWP entre 81-99 e BMWP/ASPT entre 5,5- 5,9, indicando uma "BOA" qualidade da água e com baixa abundância de indivíduos resistentes.	Pontuações de métricas bióticas como BMWP maior que 110 e BMWP/ASPT >6,0, indicando qualidade da água "EXCELENTE" e baixa abundância de indivíduos resistentes.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Diversidade estrutural	Baixa riqueza de espécies (< ou =7 famílias), baixa diversidade (Shannon < ou =1,4) e baixos níveis tróficos (< 3).	Baixa riqueza de espécies (> ou =10 famílias), baixa diversidade (Shannon >ou=1,6) e baixos níveis tróficos (> ou =3).	Riqueza de espécies (> ou =14 famílias), diversidade de Shannon >1,8) e níveis tróficos (> ou =4).	Riqueza de espécies (> ou =17 famílias), diversidade de Shannon >2,0) e níveis tróficos (> ou =4)	Riqueza de espécies (> ou=20 famílias), diversidade de Shannon >ou=2,4) e níveis tróficos (> ou =5), indicando condições de referência.
Funcionalidade do ecossistema	Proporção de Predadores três vezes maior que os demais grupos tróficos (aprox.80%), causando desequilíbrio do ecossistema.	Proporção de Predadores duas vezes maior que os demais grupos tróficos (60%), causando desequilíbrio do ecossistema.	Proporção de coletor- filtrador, fragmentador e/ou coletor- catador maior que predadores indicando o início da estabilidade do ecossistema.	Proporção de coletor- filtrador maior que fragmentador, coletor-catador e predadores indicando o início da estabilidade do ecossistema.	Presença de 3 ou mais grupos tróficos de acordo com os atributos do ecossistema, indicando equilíbrio e condições de referência.
Trocas externas	Pouca extensão da mata ciliar (< ou =1), baixa estabilidade das margens (< ou =1), ausência da mata ciliar.	Pouca extensão da mata ciliar (> ou =2), baixa estabilidade das margens (> ou =2), presença reduzida de mata ciliar (25%).	Extensão da mata ciliar (> ou =3), estabilidade das margens (> ou =3), presença de mata ciliar (>50%).	Extensão da mata ciliar (> ou =4), estabilidade das margens (> ou =4), presença de mata ciliar (>75%).	Extensão da mata ciliar (> ou =5), estabilidade das margens (> ou =5), presença de mata ciliar indicando condições de referência.

Fonte: Adaptado de (McDonald et al., 2016).



Nota: Esta escala de 5 estrelas representa um gradiente cumulativo de similaridade muito baixa a muito alta em relação ao ecossistema de referência. Esta escala fornece somente um modelo genérico, requerendo que os usuários desenvolvam indicadores e métricas de monitoramento específicos para seus ecossistemas e sub-atributos.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 SAAE GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisângela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

ANEXO E: Lista de espécies nativas atrativas da fauna (sugestiva)

Tabela 18. Lista de espécies nativas atrativas da fauna (facilmente encontradas em viveiros)

Nome vulgar	Espécie	Autor
Araticum de paca	<i>Annona cacans</i>	Warm.
Abiu	<i>Pouteria torta</i>	(Mart.) Radlk.
Anda-assu	<i>Joannesia princips</i>	Vell.
Angelim doce	<i>Andira fraxinifolia</i>	Benth.
Araçá amarelo	<i>Psidium cattleyanum</i>	Sabine
Araçarana	<i>Calyptanthes clusiifolia</i>	O.Berg
Aroeira pimenteira	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Raddi
Brejauva	<i>Astrocaryum aculeatissimum</i>	(Schott) Burret
Cafe-de-bugre	<i>Cordia ecalyculata</i>	Vell.
Cambucá	<i>Plinia edulis</i>	(Vell.) Sobral
Cambuci	<i>Campomanesia phaea</i>	(O.Berg) Landrum
Cambuí	<i>Myrcia multiflora</i>	(Lam.) DC.
Capororoca	<i>Myrsine coriacea</i>	(Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.
Cerejeira-do-mato	<i>Eugenia involucrata</i>	DC.
Copaíba	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Desf.
Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i>	Trécul
Esponja-de-ouro	<i>Stiffia chrysantha</i>	J.C.Mikan
Goiaba	<i>Psidium guajava</i>	L.
Grumixama	<i>Eugenia brasiliensis</i>	Lam.
Guabiroba	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	(Mart.) O.Berg
Guamirim	<i>Myrcia guianensis</i>	(Aubl.) DC.

 INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		 GUANHÃES/MG
Código POP 001	Data Emissão Fev/2023	Registro DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7657478	Versão nº001
AUTORES: Elisangela Costa, Marcos Callisto, Patrícia Gomes, Grazielle Wolff e Maurício Cetra.			
TÍTULO: Protocolo tecnológico de aplicação para restauração de ecossistemas ripários, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, e a roda da recuperação como ferramenta de restauração.			

Guanandi	<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Cambess.
Ingá	<i>Inga vera</i>	Willd.
Jaboticaba	<i>Plinia cauliflora</i>	(Mart.) Kausel
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	L.
Jenipapo	<i>Genipa americana</i>	L.
Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	(Cham.) Glassman
Leiteiro	<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Steud.
Mamãozinho	<i>Jacaratia spinosa</i>	(Aubl.) A.DC.
Mandioqueiro	<i>Schefflera morototoni</i>	(Aubl.) Maguire et al.
Mata-olho	<i>Sapium gladulosum</i>	(L.) Morong
Paineira	<i>Ceiba speciosa</i>	(A.St.-Hil.) Ravenna
Pau-viola	<i>Citharexylum myrianthum</i>	Cham.
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	L.
Sangra-d'água	<i>Croton urucurana</i>	Baill.
Tapiá	<i>Alchornea sidifolia</i>	Müll.Arg.
Tarumã	<i>Vitex megapotamica</i>	(Spreng.) Moldenke
Uvaia	<i>Eugenia pyriformis</i>	Cambess.