



VOLUME II



FUNDAÇÃO
renova

RELATÓRIO ANUAL – REVISÃO 2
AVALIAÇÃO ECOLÓGICA RÁPIDA DA FAUNA E FLORA TERRESTRE NA
BACIA DO RIO DOCE, MG/ES

Março de 2020

RELATÓRIO ANUAL

AVALIAÇÃO ECOLÓGICA RÁPIDA DA FAUNA E FLORA TERRESTRE NA BACIA DO RIO DOCE, MG/ES

REVISÃO 2

VOLUME II

Belo Horizonte / 2020

INSTITUIÇÃO RESPONSÁVEL POR ESTE DOCUMENTO BICHO DO MATO MEIO AMBIENTE LTDA.	
CNPJ	08.314.527/0001-00
Endereço	Rua Perdigão Malheiros 222 - Coração de Jesus Belo Horizonte – MG - CEP 30380-234
Diretora Técnica	Edeltrudes Maria Valadares Calaça Câmara (Tudy Câmara) Bióloga MSc. CRBio 8619/4-D
Contato	(31) 3312-4374 / tudy@bichodomato.net.br
FUNDAÇÃO RENOVA	
CNPJ	25.135.507/0001-83
Endereço	Avenida Getúlio Vargas, 671 – Térreo, Bairro Funcionários, Belo Horizonte – MG
Responsável pelo Projeto	Juliana Oliveira Lima
Contato	0800 031 2303
E-mail	juliana.lima@fundacaorenova.org

EQUIPE RESPONSÁVEL POR ESTE DOCUMENTO ¹		
Profissional	Formação	Atividades
Edeltrudes M. V. C. Câmara	Bióloga MSc. Zoologia, CRBio 08.619/4D	Coordenação Geral
Diogo Loretto Medeiros	Biólogo Dr. Ecologia, CRBio 38.477-02	Coordenação do Projeto
Valéria Cristina Chaves Barbosa	Geógrafa MSc., CREA 12355D	Coordenação do Meio Físico
Átilla Ferreguetti	Biólogo MSc. Ecologia, CRBio 111658/D	Especialista RAPELD e Coordenador de Campo
Fernanda Coelho de Souza	Engenheira Florestal	Especialista RAPELD e Coordenadora de Campo
Thiago Almeida Dias	Engenheiro Civil, CREA MG-174076/D	Coordenação de Topografia
Luiz Eduardo Dias	Engenheiro Agrônomo, PhD – Prof. Titular	Responsável Técnico pela Análise de Fertilidade
Cristiane Castañeda	Engenheira geóloga, PhD em Geociências,	Coordenação Edafologia

¹ ARTs dos profissionais são apresentadas no **Anexo 1**.

CREA 61700D		
Rafael de Quevedo Giraldi Costa	Engenheiro Ambiental – CREA MG 246650/LP	Relatórios Meio Físico
Júlia Círia	Geóloga MSc.	Júlia Círia
Natália Bichara	Arquiteta e Engenheira Civil	Apoio a Coordenação e Gestão do Projeto
Ana Paula Silva	Bióloga, CRBio 104541/4D	Coordenação da Flora
Tatiana Andrade Lima Guimarães Alves	Bióloga, MSc., CRBio 44155/04D	Coordenação de Logística
Alex Silva	Biólogo, CRBio 093422/04D	Coordenador de Campo - Frente em Minas Gerais
Pedro Ramiro	Geógrafo	Coordenação de Campo - Frente no Espírito Santo
Cristiane Angélica	Técnica em Segurança	SSO
Rafael Liberal	Geógrafo, CREA 109037/D	Geoprocessamento
Valdionor Gomes	Geógrafo	Geoprocessamento
Flaviana Freitas	Comunicóloga	Formatação/Editoração
Rodolfo Cristiano Martins Santos	Biólogo, CRBio 076814/04D	Mastofauna Pequeno Porte
João Marcelo Rocha Biagini	Biólogo, CRBio 080847/04D	Mastofauna Pequeno Porte
Pollyanna Alves de Barros	Bióloga, MSc., CRBio 112865/04D	Mastofauna pequeno porte
Cristiane Casar Coelho Damas	Bióloga, DSc., CRBio 016253/04D	Mastofauna Médio e Grande Porte
Beatris Felipe Rosa	Bióloga, CRBio 82937/01D	Mastofauna Médio e Grande Porte
Gislene Rocha	Bióloga, CRBio 057804/04D	Mastofauna Médio e Grande Porte
Gisele Mendes Lessa Del Giudice	Bióloga, DSc. Zoologia, CRBio 013159/04D	Coordenação Mastofauna Pequeno Porte
Fábio de Carvalho Falcão	Biólogo, DSc., CRBio 046444/RS	Coordenação, Mastofauna Morcegos
Sérgio Lage	Biólogo, CRBio 78077/02	Campo Mastofauna Morcegos
Tatiana Rodrigues	Bióloga, CRBio 104103/04D	Campo Mastofauna Morcegos

Guilherme Henrique Silva De Freitas	Biólogo, DSc. Zoologia, CRBio 062537/04D	Coordenação Avifauna
Lilian Mariana Costa	Bióloga, DSc. Ecologia, CRBio 062279/04D	Coordenação Avifauna
Fagner Daniel Teixeira	Biólogo, MSc., CRBio 098742/04D	Campo Avifauna
Wallace Correa	Biólogo, CRBio 104985/04D	Campo Avifauna
Gefferson Guilherme Rodrigues Silva	Biólogo, CRBio 098768/04D	Campo Avifauna
Thiago de Oliveira Souza	Biólogo, CRBio 076145/04D	Campo AVIFAUNA
Thiago Silva Soares	Biólogo, DSc. Zoologia, CRBio 42201/02D	Coordenação, Campo Herpetofauna
Rodrigo Gomes Tinoco	Biólogo, CRBio 087621/04D	Campo Herpetofauna
Barbara Larissa Ferreira Vitorino	Bióloga, CRBio 093733/04D	Campo Herpetofauna
Fernanda Cesconetto	Bióloga, CRBio 115129/02	Campo Herpetofauna
Leonardo Machado	Biólogo, MSc., CRBio 044213/04D	Campo Herpetofauna
Amanda del Maestro	Bióloga, CRBio 115306/02	Campo Herpetofauna
André Felipe Barreto- Lima	Biólogo, DSc. Zoologia, CRBio 027540/04D	Coordenação Crocodilianos
Iago Ornellas	Biólogo, MSc., CRBio 2115248	Campo Crocodilianos
Thiago Marcial De Castro	Biólogo, CRBio 48324/02D	Campo Crocodilianos
Elizangela Silva De Brito	Bióloga, DSc., CRBio 054159/RS	Coordenação Testudíneos
Elaine Campinhos	Bióloga, CRBio 111551/02	Campo Testudíneos
Laura Braga de Oliveira	Bióloga, DSc. Ecologia, CRBio 049754/04D	Coordenação Borboletas
Diogo França Bráulio	Biólogo, MSc., CRBio 062775/04D	Identificação Taxonômica - ES

Gloria Ramos Soares	Bióloga, MSc. Ecologia, CRBio 070486/04D	Identificação Taxonômica - MG
Holbiano Saraiva de Araújo	Biólogo, CRBio 013368/04D	Campo Borboletas
Rosana Maria Pereira Rocha	Bióloga, CRBio 098938/04D	Campo Borboletas
Alexia Estefânia Furtado Fernandes	Biólogo, CRBio 112331/04D	Campo Borboletas
Roselaini Mendes Do Carmo Da Silveira	Bióloga, CRBio 044495/04D	Coordenação Abelhas
Frederico Dutra Kirst	Biólogo, CRBio 112317/04D	Identificação Taxonômica
Paula Caetano Zama	Bióloga, CRBio 037232/04D	Identificação Taxonômica
Bruna Karen Pinheiro Costa	Bióloga, CRBio 112538/04D	Campo Abelhas
Ricardo Greco	Biólogo, CRBio 112529/04P	Campo Abelhas
Adão Júnior	Biólogo, CRBio 112912/04D	Campo abelhas
Filipe M. França	Biólogo, CRBio 112960-04D	Coordenação Besouros
Julius Cerqueira	Biólogo, CRBio 112674/04D	Identificação Taxonômica
Wallace Beiroz Imbrosio da Silva	Biólogo, DSc., CRBio 071583/04D	Campo Besouros
André Luiz Tavares	Biólogo, CRBio 93670/04D	Campo Besouros
Agnis Cristiane de Souza	Bióloga, CRBio 104035/04D	Campo Besouros
Wesley Duarte Da Rocha	Biólogo, DSc., CRBio 049331/RS	Coordenação Formigas
Antônio Cesar Medeiros de Queiroz	Biólogo, CRBio 112614/04D	Identificação Taxonômica
Filipe Pola Vargas	Biólogo, CRBio 65944/02D	Campo Formigas
José Eduardo Teixeira Falcon	Biólogo, CRBio 102329/02D	Campo Formigas

Maria Olivia Dourado Sanna - dirige	Bióloga, CRBio 049331/RS	Campo Formigas
Henrique Paprocki	Biólogo, DSc., CRBio 016104/04D	Coordenação Insetos Aquáticos
Fabiana Criste Massariol	Bióloga, DSc., CRBio 111429/02D	Campo Insetos Aquáticos
Alison Costa	Biólogo, CRBio 098289/04D	Campo Insetos Aquáticos
Larissa Moreira Silva	Bióloga, CRBio 117414/04-D	Identificação Taxonômica
Keyla Cruz	Bióloga, CRBio 91568/02	Campo Insetos Aquáticos

SUMÁRIO

ÍNDICE DE QUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xx
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxiv
ÍNDICE DE FOTOS.....	xxix
APRESENTAÇÃO.....	xxx
1. REINO PLANTAE, CLADO TRACHAEOPHYTA (plantas vasculares).....	31
1.1. Introdução.....	31
1.2. Revisão de literatura.....	33
1.3. Objetivos específicos.....	36
1.4. Material e métodos.....	36
1.4.1. Período de estudo	36
1.4.2. Procedimentos de campo.....	37
1.4.2.1. Sistemas de amostragem.....	37
1.4.2.2. Processamento taxonômico-ecológico.....	39
1.4.2.3. Classificação das fitofisionomias	39
1.4.2.4. Análise da estrutura.....	39
1.4.2.5. Medidas no POM (Ponto de Medição)	41
1.4.2.6. Tratamento das sobreposições entre segmentos	42
1.4.3. Análise de dados	43
1.4.3.1. Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce	43
1.4.3.2. <i>Status</i> de conservação.....	44
1.4.3.3. Análises estatísticas	44
1.5. Resultados.....	44
1.5.1. Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce.....	44
1.5.2. Espécies de ampla ocorrência na Bacia Hidrográfica do rio Doce.....	46
1.5.3. Espécies ameaçadas da Bacia Hidrográfica do rio Doce	48
1.5.4. Blocos Amostrais.....	50
1.5.4.1. Faixa 1	50
1.5.4.1. Faixa 2	51
1.5.4.2. Faixa 3	54
1.5.1. Tratamento das parcelas com identificação botânica.....	54
1.6. Conclusões e recomendações	62
2. PROTOSTOMIA, FILO ANNELIDA, CLASSE CLITELLATA, Subclasse: Oligochaeta.....	64

2.1.	Introdução.....	64
2.2.	Objetivos específicos.....	65
2.3.	Material e métodos.....	65
2.3.1.1.	Área de estudo	65
2.3.1.2.	Período de estudo	66
2.3.1.3.	Amostragem de dados primários	66
2.3.1.1.	Procedimentos de laboratório.....	68
2.3.1.2.	Tombamento do material testemunho.....	69
2.3.1.3.	Análise de dados	70
2.3.1.3.1.	Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce	70
2.3.1.3.2.	Status de conservação.....	70
2.3.1.3.1.	Sucesso amostral	71
2.3.1.3.2.	Distribuição geográfica.....	71
2.3.1.3.3.	Análises padronizadas	71
2.4.	Resultados.....	72
2.4.1.	Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce.....	72
2.4.2.	Diagnóstico da Área de Estudo	72
2.4.2.1.	Análises padronizadas	74
2.4.2.2.	Bloco Amostral 1 – Restinga, Ombrófila densa costeira.....	81
2.4.2.3.	Bloco Amostral 2 – FESD.....	82
2.4.2.4.	Bloco Amostral 3 – FESD.....	82
2.4.2.5.	Bloco Amostral 4 – FESD.....	83
2.4.3.	Metais pesados	84
2.5.	Conclusões e recomendações	91
2.5.1.	Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento.....	92
3.	PROTOSTOMIA, FILO ARTHROPODA, CLASSE INSECTA.....	95
3.1.	INFRACLASSE PALAEOPTERA, Ordens Odonata, Ephemeroptera, INFRACLASSE NEOPTERA, Ordem Trichoptera	95
3.1.1.	Introdução	95
3.1.2.	Objetivos específicos.....	97
3.1.3.	Material e métodos	98
3.1.3.1.	Área de estudo	99
3.1.3.2.	Procedimentos de campo.....	100
3.1.3.2.1.	Coleta de imaturos.....	100
3.1.3.2.1.	Coletas de adultos	101
3.1.3.3.	Procedimentos de laboratório.....	104
3.1.3.3.1.	Triagem e identificação	104
3.1.3.3.2.	Captura de imagens.....	104

3.1.3.4.	Tombamento do material testemunho.....	104
3.1.3.5.	Análise dos dados	105
3.1.3.5.1.	Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce	105
3.1.3.5.2.	Sucesso amostral	106
3.1.3.5.3.	Suficiência amostral	106
3.1.3.5.4.	Distribuição geográfica.....	106
3.1.3.5.5.	Status de conservação.....	106
3.1.3.5.6.	Classificação de Grupo Funcional Alimentar	107
3.1.4.	Resultados	107
3.1.4.1.	Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce	107
3.1.4.2.	Diagnóstico da Área de Estudo	108
3.1.4.2.1.	Bloco Amostrai 1a – Restinga, Vegetação Costeira.....	109
3.1.4.2.1.	Bloco Amostrai 1b – Ombrófila densa costeira	116
3.1.4.2.2.	Bloco Amostrai 2 – FESD.....	121
3.1.4.2.3.	Bloco Amostrai 3 – FESD.....	126
3.1.4.2.4.	Bloco Amostrai 4 – FESD.....	131
3.1.4.3.	Comparação entre os Blocos Amostrais e Abordagens	136
3.1.4.4.	Sucesso de captura	143
3.1.4.5.	Modelos Lineares Generalizados (GLM).....	144
3.1.4.6.	Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS).....	148
3.1.4.1.	Táxons de interesse para a conservação.....	153
3.1.4.2.	Metais pesados	154
3.1.5.	Conclusões e recomendações	157
3.1.5.1.	Objetivos específicos	157
3.1.5.2.	Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento	166
3.2.	INFRACLASSE NEOPTERA, Superordem ENDOPTERYGOTA	169
3.2.1.	Ordem Lepidoptera.....	169
3.2.1.1.	Introdução	169
3.2.1.2.	Objetivos específicos	171
3.2.1.3.	Material e métodos	171
3.2.1.3.1.	Período de estudo	172
3.2.1.3.2.	Procedimentos de campo.....	172
3.2.1.3.1.	Procedimentos de laboratório.....	176
3.2.1.3.2.	Tombamento do material testemunho.....	176
3.2.1.3.3.	Análise dos dados	177
3.2.1.4.	Resultados	178
3.2.1.4.1.	Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce.....	178
3.2.1.4.2.	Diagnóstico da Área de Estudo	180

3.2.1.4.3.	Metais pesados	204
3.2.1.4.4.	Táxons de interesse para conservação.....	210
3.2.1.5.	Conclusões e recomendações.....	213
3.2.1.5.1.	Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento	216
3.2.2.	Ordem Hymenoptera, Superfamília Apoidea, Clado Anthophila	219
3.2.2.1.	Introdução	219
3.2.2.2.	Objetivos específicos	221
3.2.2.3.	Material e métodos	221
3.2.2.3.1.	Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce	221
3.2.2.3.2.	Coleta de dados	221
3.2.2.3.3.	Análise dos dados	226
3.2.2.4.	Resultados	227
3.2.2.4.1.	Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce.....	227
3.2.2.4.2.	Diagnóstico da Área de estudo.....	228
3.2.2.4.3.	Táxons de interesse para a conservação.....	243
3.2.2.5.	Conclusões e recomendações.....	244
3.2.2.5.1.	Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento	248
3.2.3.	Ordem Hymenoptera, Família Formicidae.....	251
3.2.3.1.	Introdução	251
3.2.3.2.	Objetivos específicos	252
3.2.3.3.	Material e métodos	253
3.2.3.3.1.	Período de coleta e equipe.....	253
3.2.3.3.2.	Área de estudo	253
3.2.3.4.	Resultados	261
3.2.3.4.1.	Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce.....	261
3.2.3.4.2.	Diagnóstico de Formicidae na Área de Estudo	262
3.2.3.5.	Discussão.....	292
3.2.3.5.1.	Análise geral.....	292
3.2.3.5.2.	Análise padronizada	293
3.2.3.5.3.	Análise específica.....	294
3.2.3.5.4.	Indval	294
3.2.3.5.5.	Metais pesados	296
3.2.3.6.	Conclusões e recomendações.....	297
3.2.3.6.1.	Recomendações metodológicas.....	299
3.2.3.6.2.	Espécies úteis para genética de populações.....	299
3.2.3.6.3.	Proposta para o monitoramento	300
3.2.3.6.4.	Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento	300
3.2.4.	Ordem Coleoptera, Família Scarabaeidae	303

3.2.4.1.	Introdução	303
3.2.4.2.	Objetivos específicos	305
3.2.4.3.	Material e métodos	305
3.2.4.3.1.	Área de estudo	305
3.2.4.3.2.	Período de estudo	306
3.2.4.3.3.	Amostragem de dados primários	306
3.2.4.3.4.	Procedimentos de laboratório	309
3.2.4.3.5.	Tombamento do material testemunho	310
3.2.4.3.6.	Análises dos dados	310
3.2.4.4.	Resultados	313
3.2.4.4.1.	Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce	313
3.2.4.4.2.	Diagnóstico Área de Estudo	315
3.2.4.4.3.	Táxons de interesse para a conservação	327
3.2.4.4.1.	Metais pesados	328
3.2.4.5.	Conclusões e recomendações	335
3.2.4.5.1.	Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento	341
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	346
5.	ÍNDICE REMISSIVO	372

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Períodos de campo para o estudo da Flora durante o primeiro ano de estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	36
Quadro 2. Espécies de angiospermas, gimnospermas, plantas vasculares sem sementes e plantas avasculares registradas para o estado de Minas Gerais e Espírito Santo e para a BHRD (FORZZA et al., 2010).....	45
Quadro 3. Espécies das famílias de plantas vasculares mais abundantes registradas para os municípios da BHRD . Dados obtidos a partir de busca nos bancos de dados de coleções científicas presentes no <i>SpeciesLink</i>	46
Quadro 4. Espécies de plantas vasculares de ocorrência mais ampla nos municípios da BHRD . Dados obtidos a partir de busca nos bancos de dados de coleções científicas presentes no <i>SpeciesLink</i>	47
Quadro 5. Número de espécies de plantas vasculares por <i>status</i> de conservação por estado nos municípios da BHRD . Dados obtidos a partir de busca nos bancos de dados de coleções científicas presentes no <i>SpeciesLink</i>	50
Quadro 6. Regressão linear entre parâmetros descritores da estrutura da vegetação e a variável preditora (distância ao rio Doce) para a faixa F1 dos Blocos Amostrais 1 a 3 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Resultados significativos em fonte vermelha.	51
Quadro 7. Regressão linear entre parâmetros descritores da estrutura da vegetação e a variável preditora (distância ao rio Doce) para a faixa F2 do BA1 a BA3 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Resultados significativos em fonte vermelha, tendências em laranja.	51
Quadro 8. Regressão linear entre parâmetros descritores da estrutura da vegetação e a variável preditora (distância ao rio Doce) para a faixa F3 do BA1 a BA3 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Resultados significativos em fonte vermelha.....	54
Quadro 9. Parcelas amostradas para identificação botânica, sua distância ao rio Doce e localização macrorregional, componentes do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	56
Quadro 10. Riqueza e diversidade de espécies (Índice de <i>Shannon</i> e <i>Simpson</i>) nas parcelas amostradas para identificação botânica, distância para o rio Doce, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	60
Quadro 11. Resumo qualitativo das comparações entre parâmetros de riqueza e diversidade em relação à distância do rio Doce no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	60
Quadro 12. Períodos de campo e equipes do estudo de Oligochaeta durante a campanha de chuvas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	66
Quadro 13. Levantamento de dados secundários de espécies de Oligochaeta terrestres nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, como parte do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	73
Quadro 14. Amostras de Oligochaeta coletados e analisados quanto a concentração de metais pesados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	85

Quadro 15. Concentrações de metais pesados nos tecidos de Oligochaeta coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	86
Quadro 16. Concentrações de metais pesados por amostra de Oligochaeta coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	88
Quadro 17. Períodos de campo para o estudo de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	98
Quadro 18. Riqueza de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera registradas para o Brasil, ES, MG, BHRD e Área de Estudo da Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	108
Quadro 19. Riqueza, abundância e diversidade (<i>Shannon-Wiener</i>) de Odonata amostrados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	109
Quadro 20. Riqueza, abundância e diversidade (índice de <i>Shannon-Wiener</i>) de Ephemeroptera amostrados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	112
Quadro 21. Riqueza, abundância e diversidade (índice de <i>Shannon-Wiener</i>) de Trichoptera amostrados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	113
Quadro 22. Esforço e sucesso amostral realizado para captura de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	144
Quadro 23. Análises de GLM (Modelos Lineares Generalizados) predizendo a riqueza de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera, em função da distância do rio Doce, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Os dados foram analisados em função do BA, estação climática (S = seca; C=chuva) e Abordagem de amostragem (PT - <i>Parcelas Terrestres</i> ; PR - <i>Parcelas Ripárias</i>). Em vermelho relações significativas; em laranja as tendências.....	145
Quadro 24. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera por BA e abordagens (<i>Parcelas Ripárias</i> e <i>Parcelas Terrestres</i>) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos.....	149
Quadro 25. Resumo descritivo das análises de concentrações de metais pesados nos tecidos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	155
Quadro 26. Concentrações de metais pesados nos tecidos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	156
Quadro 27. Resumo quantitativo das distâncias em relação ao rio Doce e variáveis de uso e cobertura do solo de influência para Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	160
Quadro 28. Períodos de campo do estudo de Lepidoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	172

Quadro 29. Esforço de coleta de Lepidoptera por <i>armadilha de fruta</i> , durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	175
Quadro 30. Esforço de coleta de Lepidoptera por rede entomológica, durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	176
Quadro 31. Espécies de Lepidoptera registradas na Área de Estudo durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Parcelas	181
Quadro 32. Espécies de Lepidoptera indicadoras de qualidade ambiental capturadas nas duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. ..	193
Quadro 33. Concentração de metais pesados nos espécimes de borboletas do Bloco Amostral 1b, 2 e 3 e no solo das parcelas correspondentes referente à primeira campanha (estação chuvosa) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Em destaque os metais com maior concentração nas borboletas analisadas em comparação à concentração do solo. Para Lepidoptera não há valores de referência de limite crítico HC5.....	206
Quadro 34. Concentração de metais pesados por amostra nos espécimes de borboletas coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Todas as concentrações em mg*kg ⁻¹	208
Quadro 35. Resumo quantitativo das distâncias em relação ao rio Doce e variáveis de uso e cobertura do solo de influência para Lepidoptera durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	214
Quadro 36. Períodos de campo das equipes durante as duas campanhas de amostragem de Abelhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	222
Quadro 37. Esforço de coleta e métodos utilizados em campo para a captura de Abelhas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	222
Quadro 38 Abundância, riqueza, estimador de riqueza e cobertura da amostra por Blocos Amostrais por tipo de parcela de coleta de Abelhas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	228
Quadro 39. Concentrações de metais pesados nos tecidos de <i>Apis mellifera</i> coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	241
Quadro 40. Concentrações de metais pesados, por amostra, nos tecidos de <i>Apis mellifera</i> coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Todas as concentrações em mg*kg ⁻¹	242
Quadro 41. Resumo quantitativo das distâncias em relação ao rio Doce e variáveis de uso e cobertura do solo de influência para as Abelhas durante as campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.	246
Quadro 42. Períodos de campo das equipes durante duas campanhas, uma na estação seca e outra na estação chuvosa, para amostragem de Formicidae no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	253
Quadro 43. Resumo descritivo das análises de concentrações (mg*kg ⁻¹) de metais pesados nos tecidos de espécimes de Formicidae coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	287

Quadro 44. Concentrações de metais pesados ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) por amostra de tecidos de espécimes de Formicidae coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	288
Quadro 45. Correlações de <i>Spearman</i> entre as concentrações de metais pesados nos tecidos das formigas e a distância para o rio Doce, durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	292
Quadro 46. Períodos de campo para o estudo de besouros escarabeídeos durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	306
Quadro 47. Relação dos módulos e parcelas não amostrados dentro das abordagens terrestre, ripária e ilha, durante a campanha chuvosa do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	308
Quadro 48. Levantamento de dados secundários de besouros Scarabaeidae para os municípios da BHRD , parte do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	312
Quadro 49. Dados secundários de besouros Scarabaeidae na base de dados <i>SpeciesLink</i> para os municípios da BHRD , parte do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Espécies em negrito foram exclusivamente registradas neste levantamento, não presentes no Quadro 48	314
Quadro 50. Riqueza e abundância de besouros Scarabaeidae coletados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	316
Quadro 51. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Scarabaeidae por BA e abordagens (<i>Parcelas Ripárias e Terrestres</i>) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.	325
Quadro 52. <i>Status</i> de conservação de besouros Scarabaeidae registrados para os municípios da BHRD , parte do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	328
Quadro 53. Resumo descritivo das análises de concentrações de metais pesados nos tecidos de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae) coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores observados (V_o) acima do valor de referência são destacados em negrito e vermelho.	329
Quadro 54. Concentrações de metais pesados ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), por amostra, nos tecidos de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae) coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	331
Quadro 55. Resumo quantitativo das distâncias em relação ao rio Doce e variáveis de uso e cobertura do solo de influência para besouros Scarabaeidae durante as campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.	336

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. GLM para as amostras de <i>Oligochaeta</i> coletadas nas <i>Parcelas Terrestres</i> (PT) e <i>Ripárias</i> (PR) durante a campanha de chuvas, por BA, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho: relação significativa.	75
Tabela 2. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de <i>Oligochaeta</i> nas <i>Parcelas Terrestres</i> por BA para a campanha de chuvas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Tendências em laranja.....	76
Tabela 3. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de <i>Oligochaeta</i> nas <i>Parcelas Ripárias</i> por BA para a campanha de chuvas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em laranja representam tendências. Não houve resultados estatisticamente significativos.	77
Tabela 4. Modelos Lineares Generalizados (GLM) gerados para as amostras de borboletas coletadas nas <i>Parcelas Terrestres</i> e <i>Parcelas Ripárias</i> nos Blocos Amostrais (BA) durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Modelos gerados a partir da riqueza de espécies por BA em função da distância para o leito do rio Doce. Valores em vermelho: relação significativa; valores em laranja sinalizam tendência.	187
Tabela 5. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de borboletas por BA nas <i>Parcelas Terrestres</i> durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores vermelhos são estatisticamente significativos.....	188
Tabela 6. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de borboletas por BA nas <i>Parcelas Ripárias</i> durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos.	189
Tabela 7. Análises de GLM (Modelos Lineares Generalizados) predizendo a riqueza de espécies de Abelhas em função da distância do rio Doce nas <i>Parcelas Terrestres</i> no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Dados em função do BA e estação. Valores em vermelho sinalizam resultados significativos.....	232
Tabela 8. Análises de GLM (Modelos Lineares Generalizados) predizendo a riqueza de espécies de Abelhas em função da distância do rio Doce nas <i>Parcelas Terrestres</i> no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Dados em função do BA e estação. Valores em vermelho sinalizam resultados significativos, em laranja significam tendências.....	233
Tabela 9. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Abelhas por BA nas <i>Parcelas Terrestres</i> durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.....	236
Tabela 10. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Abelhas por BA nas <i>Parcelas Ripárias</i> durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.....	237

Tabela 11. Análise da heterogeneidade da comunidade de Formicidae, com base nos índices de diversidade invertido de <i>Simpson</i> (Inv- <i>Simpson</i>) em cada BA, por método de amostragem, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	266
Tabela 12. Modelos Lineares Generalizados gerados para as amostras de formigas coletadas nas <i>Parcelas Terrestres</i> e <i>Parcelas Ripárias</i> nos Blocos Amostrais (BA) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Modelos gerados a partir da riqueza de espécies por BA em função da distância para o leito do rio Doce. Valores em vermelho: relação significativa.	267
Tabela 13. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Formicidae capturadas em armadilhas de iscas comestíveis por BA nas <i>Parcelas Terrestres</i> e <i>Ripárias</i> durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.	270
Tabela 14. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Formicidae capturadas em <i>pitfalls</i> por BA nas <i>Parcelas Terrestres</i> e <i>Ripárias</i> durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.....	271
Tabela 15. Riqueza de espécies de formigas (Variável resposta) em cada Bloco Amostral (BA) e em cada tipo de armadilha na Abordagem 1 do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestre nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Variáveis explicativas: Barragem (distância da barragem), Rio (distância do rio Doce), paisagem (Heterogeneidade da paisagem), % de área nativa, Sub-bosque (Densidade de sub-bosque) e Floresta (densidade de floresta). A cor verde indica uma correlação positiva, enquanto que a cor vermelha uma correlação negativa. N.S. = não significativo. (* = $p < 0,05$).....	278
Tabela 16. Riqueza de espécies formigas (Variável resposta) em cada Bloco Amostral e em cada técnica de amostragem na Abordagem 2 do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestre nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Variáveis explicativas: Barragem (distância da barragem), Rio (distância do rio Doce), Paisagem (Heterogeneidade da paisagem), % de Área Nativa, Sub-bosque (Densidade de sub-bosque) e Floresta (densidade de floresta). A cor verde indica uma correlação positiva, enquanto que a cor vermelha uma correlação negativa. N.S. = não significativo. (* = $p < 0,05$).....	279
Tabela 17. Similaridade de espécies de formigas em cada Bloco Amostral (BA) e em cada técnica de amostragem na Abordagem 1 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Variáveis explicativas: Barragem (distância da barragem), Rio (distância do rio Doce), Paisagem (Heterogeneidade da paisagem), % de Área Nativa, Sub-bosque (Densidade de sub-bosque) e Floresta (densidade de floresta). A cor verde indica uma correlação positiva, enquanto que a cor vermelha uma correlação negativa. N.S. = não significativo. (* = $p < 0,05$).	280
Tabela 18. Similaridade de formigas em cada Bloco Amostral em cada técnica de amostragem na Abordagem 2 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Variáveis explicativas: Barragem (distância da barragem), Rio (distância do rio Doce), Paisagem (Heterogeneidade da paisagem), % de Área Nativa, Sub-bosque (Densidade de Sub-bosque) e Floresta (densidade de floresta). A cor verde indica uma correlação positiva, enquanto que a cor vermelha uma correlação negativa. N.S. = não significativo. (* = $p < 0,05$).	281

Tabela 19. Espécies de Formicidae indicadoras e seus valores de indicação por Abordagem (#A), Bloco Amostral (BA), método de captura e estação (seca ou chuvosa) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. IV= índice do valor do indicador (*Indval*). 285

Tabela 20. Modelos de melhor ajuste à relação entre a riqueza e abundância de besouros Scarabaeidae a distância do rio Doce, pontos de inflexão e efeito do período de amostragem (Estação seca vs. chuvas), por BA, durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são resultados estatisticamente significativos.....317

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Faixas de coleta diferencial de dados nas parcelas de monitoramento de vegetação do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	38
Figura 2. Critérios de medição de árvores relativas às irregularidades dos troncos, utilizadas no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Fonte: (CASTILHO et al., 2014).....	41
Figura 3. Tratamento das sobreposições entre segmentos usadas nas parcelas de monitoramento ao longo da BHRD , durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. As projeções são mostradas em cores diferentes. As áreas “a mais” entre os segmentos 1 e 2 são registradas como pertencente ao <i>segmento 1</i> , e a área que se sobrepõe nos segmentos 2 e 3 será registrada como pertencente ao <i>segmento 2</i> (CASTILHO et al., 2014).....	43
Figura 4. Regressão linear entre (A) valores de Área Basal (m ²) e (B) Densidade de indivíduos em relação à Distância do rio Doce, por BA e Abordagem para a Faixa 1 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	52
Figura 5. Regressão linear entre (A) valores de Área Basal (m ²) e (B) Densidade de indivíduos em relação à Distância do rio Doce, por BA e Abordagem para a Faixa 2 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	53
Figura 6. Regressão linear entre (A) valores de Área Basal (m ²) e (B) Densidade de indivíduos em relação à Distância do rio Doce, por BA e Abordagem para a Faixa 3 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	55
Figura 7. Número de espécies por família e gênero, com mais de três espécies do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	58
Figura 8. Frequência relativa de espécies vegetais por grupo ecológico, funcional e síndrome de dispersão registradas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Grupo ecológico: P – Pioneira; NP – Não Pioneira; SI – Secundária Inicial; ST – Secundária Tardia; C – Climática. Grupo funcional: P – Preenchimento D – Diversidade. SC – Sem Classificação. Fonte: BLUM (2007; 2006).....	59
Figura 9. Regressão da riqueza em função da distância para as parcelas amostradas na identificação botânica, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	61
Figura 10. Regressão da diversidade em função da distância para as parcelas amostradas na identificação botânica, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	61
Figura 11. Sequência de escavação (A, B, C) de monolito de solo pelo método TSBF (<i>Tropical Soil Biology and Fertility</i>), triagem do solo (D) e armazenamento dos animais coletados (E) durante a campanha na estação chuvosa do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	67
Figura 12. Triagem e identificação (A, B, C) das espécies de minhocas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Caracteres morfológicos observados durante a identificação: forma de morte (D, seta vermelha), posição das marcas genitais (E, círculo vermelho) e divisão de espécies em diferentes tubos Falcon (B).	69

Figura 13. Minhocas da espécie <i>P. corethrurus</i> em estado de dormência registrada na BHRD durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	74
Figura 14. Relação entre a riqueza de espécies de Oligochaeta registradas nas <i>Parcelas Terrestres</i> , e a distância do rio Doce para o BA1b (A), BA2 (B), BA3 (C) e BA4 (D) durante a campanha de chuvas em 2019 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	78
Figura 15. Relação entre a riqueza de espécies de Oligochaeta registradas nas <i>Parcelas Ripárias</i> e a distância do rio Doce para o BA3 (A), BA4 (B), durante a campanha de chuvas em 2019 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	79
Figura 16. Ordenação por NMDS das comunidades de Oligochaeta nas <i>Parcelas Terrestres</i> em função da distância do município mais próximo, barragem de Fundão, rio Doce, Unidade de Conservação mais próxima, <i>uso antrópico</i> , ambientes aquáticos, degradação ambiental, e áreas naturais para o BA1b (A), BA2 (B), BA3 (C) e BA4 (D) durante a campanha de chuvas em 2019 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	80
Figura 17. Áreas de coleta (A, B) e procedimentos de extração de solo (C, D, E) e separação de Oligochaeta (F) em ecossistema de Restinga no BA1 em Regência, ES, durante a campanha de chuvas em 2019 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	81
Figura 18. Visão geral da vegetação (A - E) e tipos de solos mais argilosos (F) encontrados nos Blocos Amostrais 3 e 4 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	83
Figura 19. Métodos de amostragem utilizados para captura de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A. <i>Pensilvânia</i> . B. <i>Lençol</i> branco. C. Rede entomológica (<i>puçá</i>). D. Rede D.	102
Figura 20. Métodos aplicados para a conservação dos adultos de Odonata capturados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A. Exemplos imersos em acetato de etila. B. Envelopes separados de forma a evaporar o acetato de etila. C. Exemplos acondicionados a seco em potes com naftalina.	103
Figura 21. Curvas do coletor de amostras para Abelhas por BA e abordagens de análise para as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	230
Figura 22. Curvas do coletor de abundância para Abelhas por BA e abordagens de análise para as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	231
Figura 23. GLM da riqueza de espécies de Abelhas coletadas durante as estações seca e chuvosa, em relação à distância do rio doce, para as <i>Parcelas Terrestres</i> , no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	234
Figura 24. GLM da riqueza de espécies de Abelhas coletadas durante as estações seca e chuvosa, em relação à distância do rio doce, para as <i>Parcelas Ripárias</i> , no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	235
Figura 25. NMDS para relação da diversidade de espécies de Abelhas em relação as variáveis, para as <i>Parcelas Terrestres</i> , no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	238

Figura 26. NMDS para relação da diversidade de espécies de Abelhas em relação as variáveis, para as <i>Parcelas Ripárias</i> , no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	239
Figura 27. Distribuição das armadilhas, <i>pitfall</i> , iscas de sardinha e iscas de mel/pão, para coleta de Formicidae durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	255
Figura 28. Biólogo instalando <i>pitfall</i> para captura de Formicidae (esquerda), durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A direita, detalhe da armadilha posicionada para captura.	258
Figura 29. Armadilha atrativas para captura de Formicidae, a esquerda isca de pão com mel, e a direita isca de sardinha, usadas durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	259
Figura 30. Diagramas de Venn com o total de espécies de Formicidae coletadas por método e a quantidade compartilhadas entre métodos do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	263
Figura 31. Curvas de extrapolação de espécies de Formicidae nos Blocos Amostrais (1a -4) em função do número de amostras em iscas de mel, sardinha e <i>pitfalls</i> coletadas durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A linha pontilhada representa a extrapolação até o dobro do número de amostras coletadas e os intervalos de confiança são de 95%.	264
Figura 32. Curvas de cobertura da amostragem de Formicidae nos Blocos Amostrais em função do número de amostras em iscas de mel, sardinha e <i>pitfalls</i> durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A linha pontilhada representa a extrapolação até o dobro do número de amostras coletadas e os intervalos de confiança são de 95%.	265
Figura 33. Relações entre riqueza de espécies de formigas em iscas e <i>pitfalls</i> e distância do rio Doce nas duas abordagens do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. <i>Parcelas Terrestres</i> : A, B, D, F, H; <i>Parcelas Ripárias</i> : C, E, G.	269
Figura 34. Relações entre composição de espécies de formigas em iscas e variáveis preditoras para <i>Parcelas Terrestres</i> do BA1b (A), BA2 (B) e BA3 (C) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	273
Figura 35. Relações entre composição de espécies de formigas em iscas e variáveis preditoras para as <i>Parcelas Ripárias</i> do BA1b (A), BA3 (B) e BA4 (C) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	274
Figura 36. Relações entre composição de espécies de formigas em <i>pitfalls</i> e variáveis preditoras para as <i>Parcelas Terrestres</i> do BA1a (A), BA1b (B), BA2 (C) e BA3 (D) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	275
Figura 37. Relações entre composição de espécies de formigas em <i>pitfalls</i> e variáveis preditoras para as <i>Parcelas Ripárias</i> do BA1b (A), BA3 (B), BA4 (C) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	276
Figura 38. Resumo das principais relações das variáveis preditoras e métricas estudadas de influência para Formicidae durante as campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres em MG e ES.	298
Figura 39. Curvas de acumulação de espécies de besouros Scarabaeidae baseadas nos números de amostras e de indivíduos nas <i>Parcelas Ripárias</i> (A-B) e <i>Parcelas Terrestres</i> (C-D). Besouros coletados	

durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	318
Figura 40. Relação entre a riqueza e abundância de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce, e pontos de inflexão calculados para os modelos segmentados, para os Blocos Amostrais 1a, BA1b, BA2, BA3 e BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	319
Figura 41. Relação entre a riqueza de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce para as <i>Parcelas Terrestres</i> dos Blocos Amostrais 1a (A), BA1b (B), BA2 (C), BA3 (D) e BA4 (E) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. ...	320
Figura 42. Relação entre a riqueza de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce para as <i>Parcelas Ripárias</i> dos Blocos Amostrais 1a (A), BA1b (B), BA2 (C), BA3 (D) e BA4 (E) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. ...	321
Figura 43. NMDS (<i>'Non-metric multidimensional scaling'</i>) da relação entre a composição e abundância de espécies de besouros Scarabaeidae em função do uso do solo (antrópico, aquático, degradado e natural), distância do rio Doce, da barragem de Fundão, de centros urbanos mais próximos e de Unidades de Conservação da abordagem de <i>Parcelas Terrestres</i> , para os Blocos Amostrais 1a (A), BA1b (B), BA2 (C), BA3 (D) e BA4 (E) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	323
Figura 44. NMDS (<i>'Non-metric multidimensional scaling'</i>) da relação entre a composição e abundância de espécies de besouros Scarabaeidae em função do uso do solo (antrópico, aquático, degradado e natural), distância do rio Doce, da barragem de Fundão, de centros urbanos mais próximos e de Unidades de Conservação da abordagem de <i>Parcelas Ripárias</i> , para os Blocos Amostrais 1b, BA2, BA3 e BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	324
Figura 45. Relação entre a distância do rio Doce e concentração dos metais pesados acima dos níveis de referência para os besouros coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	334

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva de acumulação de espécies para as áreas do PERD e do Norte do Espírito Santo (N.ES) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	57
Gráfico 2. Riqueza florística por hábitos nas diferentes regiões fitofisionômicas amostradas para identificação botânica do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	57
Gráfico 3. Curvas de rarefação (<i>Jackknife 1</i>) para os métodos de coletas <i>Rede D</i> e <i>Puçá</i> para os Odonata coletados no BA1a durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em preto – <i>Parcelas Ripárias</i> ; valores em cinza escuro – <i>Parcelas Terrestres</i> ; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.	111
Gráfico 4. Curvas de rarefação (<i>Jackknife 1</i>) para os métodos de coletas <i>Pensilvânia</i> e <i>Lençol</i> para os Ephemeroptera coletados no BA1a durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método de coleta <i>Rede D</i> , devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – <i>Parcelas Ripárias</i> ; valores em preto – <i>Parcelas Terrestres</i> ; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.....	114
Gráfico 5. Curvas de rarefação (<i>Jackknife 1</i>) para os métodos de coletas <i>Pensilvânia</i> e <i>Lençol</i> para os Trichoptera coletados no BA1a durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método de coleta <i>Rede D</i> , devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – <i>Parcelas Ripárias</i> ; valores em preto – <i>Parcelas Terrestres</i> ; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.....	115
Gráfico 6. Curvas de rarefação (<i>Jackknife 1</i>) para os métodos de coletas <i>Rede D</i> e <i>Puçá</i> para os Odonata coletados no BA1b durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – <i>Parcelas Ripárias</i> ; valores em cinza escuro – <i>Parcelas Terrestres</i> ; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.	118
Gráfico 7. Curvas de rarefação (<i>Jackknife 1</i>) para os métodos de coletas <i>Rede D</i> , <i>Pensilvânia</i> e <i>Lençol</i> para os Ephemeroptera coletados no BA1b durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – <i>Parcelas Ripárias</i> ; valores em cinza escuro – <i>Parcelas Terrestres</i> ; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.	119
Gráfico 8. Curvas de rarefação (<i>Jackknife 1</i>) para os métodos de coletas <i>Pensilvânia</i> e <i>Lençol</i> para os Trichoptera coletados no BA1b durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método de coleta <i>Rede D</i> , devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – <i>Parcelas Ripárias</i> ; valores em cinza escuro – <i>Parcelas Terrestres</i> ; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.....	120
Gráfico 9. Curvas de rarefação (<i>Jackknife 1</i>) para os métodos de coletas <i>Rede D</i> e <i>Puçá</i> para os Odonata coletados no BA2 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – <i>Parcelas Ripárias</i> ; valores	

em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

.....123

Gráfico 10. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Ephemeroptera coletados no BA2 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.....124

Gráfico 11. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Pensilvânia* e *Lençol* para os Trichoptera coletados no BA2 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método de coleta *Rede D*, devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.....125

Gráfico 12. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D* e *Puçá* para os Odonata coletados no BA3 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada. 128

Gráfico 13. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Ephemeroptera coletados no BA3 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.....129

Gráfico 14. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Trichoptera coletados no BA3 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.....130

Gráfico 15. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D* e *Puçá* para os Odonata coletados no BA4 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada. 133

Gráfico 16. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Ephemeroptera coletados no BA4 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.....134

Gráfico 17. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coleta *Pensilvânia* para os Trichoptera coletados no BA4 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para *Rede D* e *Lençol*, devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores

em cinza escuro – <i>Parcelas Terrestres</i> ; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.	
.....	135
Gráfico 18. Riqueza de Odonata (Odon.), Ephemeroptera (Ephe.) e Trichoptera (Tric.) encontrada nos BA durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	138
Gráfico 19. Abundância de Odonata (Odon.), Ephemeroptera (Ephe.) e Trichoptera (Tric.) encontrada nos BA durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	138
Gráfico 20. Riqueza e abundância de Odonata encontrada nos BA e respectivas abordagens (PT = <i>Parcelas Terrestres</i> , PR = <i>Parcelas Ripárias</i> , I = <i>Ilhas</i>) durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	139
Gráfico 21. Riqueza e Abundância de Ephemeroptera encontrada nos BA e respectivas abordagens (PT = <i>Parcelas Terrestres</i> , PR = <i>Parcelas Ripárias</i> , I = <i>Ilhas</i>) durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	140
Gráfico 22. Riqueza e abundância de Trichoptera encontrada nos Blocos Amostrais e respectivas abordagens (PT = <i>Parcelas Terrestres</i> , PR = <i>Parcelas Ripárias</i> , I = <i>Ilhas</i>) durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	141
Gráfico 23. Relação entre a riqueza de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera registradas e a distância do rio Doce durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A. Odonata, BA1a, <i>Parcelas Ripárias</i> , estação seca. B. Odonata, BA3, <i>Parcelas Ripárias</i> , seca. C. Ephemeroptera, BA3, <i>Parcelas Ripárias</i> , seca. D. Ephemeroptera, BA4, <i>Parcelas Ripárias</i> , chuvosa. E. Trichoptera, BA4, <i>Parcelas Ripárias</i> , chuvosa.	147
Gráfico 24. Ordenação por NMDS das comunidades de Odonata e Ephemeroptera em função da distância do município mais próximo, barragem de Fundão, rio Doce, Unidade de Conservação mais próxima, <i>uso antrópico</i> , ambientes aquáticos, degradação ambiental, e áreas naturais para os dados das duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A. Odonata, BA1b, <i>Parcelas Terrestres</i> . B. Odonata, BA3, <i>Parcelas Terrestres</i> . C. Ephemeroptera, BA1b, <i>Parcelas Ripárias</i> . D. Ephemeroptera, BA3, <i>Parcelas Ripárias</i>	151
Gráfico 25. Ordenação por NMDS das comunidades de Odonata e Ephemeroptera em função da distância do município mais próximo, barragem de Fundão, rio Doce, Unidade de Conservação mais próxima, <i>uso antrópico</i> , ambientes aquáticos, degradação ambiental, e áreas naturais para os dados das duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A. Trichoptera, BA1b, <i>Parcelas Terrestres</i> . B. Trichoptera, BA1b, <i>Parcelas Ripárias</i> . C. Trichoptera, BA3, <i>Parcelas Ripárias</i>	152
Gráfico 26. Concentrações de metais pesados nos tecidos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores de referência segundo Awrahman et al., 2016; Chibunda, 2009; Gerhardt, 1992; Rainbow et al., 2012; Tomasik & Warren, 1996.....	156
Gráfico 27. Riqueza absoluta e percentual de famílias de Lepidoptera capturadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	180

Gráfico 28. Riqueza absoluta e percentual de subfamílias de Nymphalidae (Lepidoptera), registradas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	182
Gráfico 29. Abundância absoluta e percentual de subfamílias de Nymphalidae (Lepidoptera) capturadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.....	183
Gráfico 30. Curva de acumulação de espécies de Lepidoptera capturadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Barras verticais: desvio padrão.	184
Gráfico 31. Abundância relativa de Lepidoptera capturadas no BA1a durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Outros*: 36 espécies com abundância relativa percentual inferior a 4%.	185
Gráfico 32. Relação entre a riqueza de espécies de Lepidoptera e a distância do rio Doce. Pontos amostrados nas <i>Parcelas Terrestres</i> do BA1a durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	186
Gráfico 33. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera em pontos amostrados nas <i>Parcelas Terrestres</i> do BA1a durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de UA.....	190
Gráfico 34. Abundância relativa de Lepidoptera no BA1b durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Outros*: 117 espécies com abundância relativa percentual inferior a 5%.	191
Gráfico 35. Relação entre a riqueza de espécies de Lepidoptera e a distância do rio Doce. Pontos amostrados nas <i>Parcelas Terrestres</i> do BA1b durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	192
Gráfico 36. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera nas <i>Parcelas Terrestres</i> do BA1b durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de pontos referenciais.....	195
Gráfico 37. Abundância relativa de Lepidoptera no BA2 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Outros*: 68 espécies com abundância relativa percentual inferior a 5%.	196
Gráfico 38. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera em pontos amostrados nas <i>Parcelas Ripárias (A)</i> e <i>Parcelas Terrestres (B)</i> durante duas campanhas no BA2, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de pontos referenciais.	197
Gráfico 39. Abundância relativa de Lepidoptera no BA3 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Outros*: 122 espécies com abundância relativa percentual inferior a 2%.	199
Gráfico 40. Relação entre a riqueza de espécies de Lepidoptera e a distância em relação ao rio Doce. Pontos amostrados no BA3 durante as duas campanhas para <i>Parcelas Ripárias (A)</i> e <i>Parcelas Terrestres (B)</i> do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	200

Gráfico 41. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera em pontos amostrados nas <i>Parcelas Ripárias (A)</i> e <i>Parcelas Terrestres (B)</i> durante duas campanhas no BA3, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de pontos referenciais.	201
Gráfico 42. Abundância relativa de Lepidoptera no BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Outros*: 76 espécies com abundância relativa percentual inferior a 4%.	202
Gráfico 43. Relação entre a riqueza de espécies de Lepidoptera e a distância do rio Doce. Pontos amostrados nas <i>Parcelas Terrestres</i> do BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	203
Gráfico 44. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera em pontos amostrados nas <i>Parcelas Ripárias (A)</i> e <i>Parcelas Terrestres (B)</i> durante duas campanhas no BA4, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de pontos referenciais.	204
Gráfico 45. Grupos funcionais de formigas capturadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Classes listadas em 3.2.3.3.2.2.3	283
Gráfico 46. Grupos Funcionais de Formicidae por Bloco Amostral, BA1, BA2, BA3, BA4 capturados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.	284

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Biólogo realizando medida de posição relativa de indivíduo arbóreo (X e Y) em parcela do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	38
Foto 2. Indivíduos arbóreos marcados com tinta e plaquetas de metal após aferição das medidas de estrutura em parcela do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	42
Foto 3. Armadilha <i>Van Someren-Rydon</i> para captura de Lepidoptera frugívoras (Nymphalidae) usadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	173
Foto 4. Parcela de amostragem padronizada usada para o registro de Lepidoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Módulo: PERD. Parcela: 1prPERD.	174
Foto 5. Identificação e marcação de espécime Lepidoptera, durante a primeira campanha, na estação seca, de julho a outubro de 2018, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Espécime de <i>Taygetis virgilia</i>	175
Foto 6. Método de amostragem por rede entomológica (<i>puçá</i>) de Lepidoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. ...	177
Foto 7. <i>Glennia pylotis</i> , vista dorsal (A), vista ventral (B), coletada durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	211
Foto 8. Profissional realizando a coleta ativa de Abelhas em floração em parcela do módulo 22T, município de Mariana, MG, durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	223
Foto 9. Profissional checando armadilha de isca aromática (A e B), retirando as abelhas coletadas (C) e repondo iscas (D). Abelhas do gênero <i>Euglossa</i> sobrevoando a armadilha com isca aromática (E) e uma abelha entrando na armadilha (F). Amostragens durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	225
Foto 10. Profissional montando a armadilha <i>malaise</i> (A e B), detalhe do pote da <i>malaise</i> com os insetos coletados (imagem C). Armadilha <i>malaise</i> instalada em área de impacto do módulo 13T, Baixo Guandú - ES, para captura de abelhas, durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	226
Foto 11. Métodos de coleta utilizados para capturar Scarabaeidae, durante a primeira campanha, na estação seca, de julho a outubro de 2018, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A-C, primeiro tipo de armadilha com solução letal. (A e B) Primeiro tipo de armadilha, com solução letal; (C e D), segundo tipo de armadilha para coleta de besouros vivos.	308
Foto 12. Biólogo Julius C. Cerqueira Silva, especialista em besouros escarabaeíneos, realizando triagem do material coletado em campo (A), e besouros dispostos em manta após triagem (B). Besouros coletados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.	310

APRESENTAÇÃO

A **Bicho do Mato Meio Ambiente Ltda.** apresenta neste documento o **Relatório Técnico anual relativo às duas primeiras campanhas da Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES**. Este relatório é parte integrante das ações para o estudo de avaliação dos impactos das áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão, na mina de Germano da **Samarco Mineração S.A.**, que integra o chamado Complexo de Alegria, situado no distrito de Santa Rita Durão do município de Mariana, no estado de Minas Gerais.

Este Relatório Técnico, assim como os demais documentos componentes do estudo de **Avaliação dos Impactos e Monitoramento de Populações e Comunidades da Fauna Terrestre nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo** tem como finalidade atender a Notificação IBAMA 678322-E e a Cláusula 168 do Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC; IBAMA, 2016), celebrado em 02 de março de 2016, que estabelece programas com o objetivo de desenvolver planos e procedimentos em resposta aos impactos ambientais resultantes do rompimento da barragem. Assim, ficou determinado, em plano de trabalho específico, que Avaliação Ecológica Rápida seria feita usando o protocolo de estudo modular conhecido como RAPELD, união das siglas e conceitos aplicados no protocolo RAP (*Rapid Assessment Surveys Program*) e PELD (Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração) para estudo da biodiversidade (MAGNUSSON et al., 2005).

O monitoramento está sendo realizado aplicando os conjuntos de protocolos RAPELD, em 108 parcelas, instaladas no ambiente terrestre, em áreas ripárias e em ilhas fluviais do rio Doce, distribuídas em módulos instalados em diferentes áreas para representar a diversidade estrutural e heterogeneidade ambiental em toda a extensão do rio. Este Relatório traz as análises de dados resultantes do primeiro ano completo de coleta de dados para o monitoramento da fauna e flora nos módulos RAPELD, segundo os objetivos dispostos nos Pareceres Técnicos 1/2017-COREC/CGBIO/DBFLO de 08 de maio de 2017, e 15/2017-COREC/CGBIO/DBFLO de 11 de setembro de 2017 (IBAMA-COREC, 2017a, 2017b).

1. REINO PLANTAE, CLADO TRACHAEOPHYTA (plantas vasculares)

1.1. Introdução

As árvores são de grande importância ecológica e econômica, pois funcionam como abrigo e como fonte de alimento para a fauna silvestre. A estrutura da vegetação e a fitossociologia das espécies vegetais são parâmetros importantes no funcionamento dos sistemas biológicos, e modificações nesta estrutura podem afetar diretamente a biodiversidade local. Dados estruturais da vegetação são utilizados com acurácia na caracterização da situação ecológico-funcional de fisionomias vegetais, pois avaliam aspectos relacionados ao porte dos indivíduos, dominância de espécies, cobertura, presença de epífitas e lianas, formação de estratos verticais, presença de serapilheira. Essa abordagem é utilizada em conjunção com indícios de antropização, como o corte de indivíduos, queimadas, presença de gado, entre outros.

Os dados de estrutura das florestas, no entanto, estão bastante condicionados à expressão fitofisionômica da vegetação encontrada ao longo de um gradiente onde mudanças geomorfológicas são expressão das alterações no clima e sua sazonalidade. A classificação proposta por IBGE (2012) das fitofisionomias florestais do sudeste brasileiro, para a **BHrD**, está associada com a geografia do Escudo Atlântico e das encostas marítimas desta parte do país, sob condições de influência do rifte continental do sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1990), vinculado a sistemas geomorfológicos montanhosos, com destaque para a Serra do Mar e Serra da Mantiqueira, que na porção do baixo rio Doce juntam-se em um relevo escarpado mais ao leste, entre conjuntos de formas convexas do tipo “mar de morros” (sensu, AB’SABER, 2003), restringindo a expressão da Mata Atlântica nesta porção da costa brasileira.

De maneira geral, no contexto da distribuição da Mata Atlântica, a ocorrência da Floresta Ombrófila Densa, ou “Floresta Tropical Pluvial”, tipologia declaradamente úmida, que predomina pelas áreas costeiras do litoral leste brasileiro também está presente no baixo rio Doce, sendo freada sua dispersão para o interior do país pela barreira geográfica formada pela coadunação das Serra da Mantiqueira e Serra do Mar (cujas expressões de maior destaque na área são a Serra do Caparaó, no limite entre ES e MG, e a Serra do Castelo, inteiramente no ES), originando as Florestas Estacionais Semidecíduais que se estendem para o oeste.

Assim, a **BHrD** ao oeste da serra da Mantiqueira no estado do Espírito Santo está recoberta com vegetação característica de florestas semidecíduais, também estas

pertencentes ao domínio da Mata Atlântica, possuindo riqueza e diversidade biológica típicas, além de abrigar grande número de espécies da fauna e da flora com distribuição restrita a esse ecossistema (FONSECA, 1997).

OLIVEIRA-FILHO & FONTES (2000) e EISENLOHR & OLIVEIRA-FILHO (2015), utilizando dados de ocorrência de espécies arbóreas, avaliaram quais seriam as principais forças direcionadoras da variação fitofisionômica da região, e para isso extraíram variáveis geoclimáticas, bioclimáticas, topográficas e concluíram que as forças que dirigem a variação fisionômica são altitude, número de dias com geada, variação na precipitação anual, evapotranspiração potencial, distância do oceano e sazonalidade na precipitação.

Outra formação vegetal, associada especificamente à presença do mar e sua influência, as restingas podem formar comunidades específicas pontuais, afetadas pelas marés equinociais. Uma última fitofisionomia, presente no encontro da vegetação de restinga com a vegetação florestal mais próxima do mar, é floresta dos tabuleiros costeiros do norte do Espírito Santo, cobrindo os sedimentos do Terciário (Formação Barreiras), particularmente as encontradas entre os rios Doce e Barra Seca, área denominada de como Floresta de Linhares (SAITER et al., 2017). Estas florestas são relacionadas aos ambientes de tabuleiros costeiros, planícies sedimentares, entrecortadas por vales amplos e rasos e atingem altitudes entre 20 e 100 m, com solos argilosos, porosos, bem drenados, e com textura variando de arenosa a argilosa (SANTOS et al., 2004). Os autores observaram aspectos de transição entre estação seca e úmida, com fisionomias entre ombrófilas e semidecíduas.

Além das características típicas de cada fitofisionomia ao longo da **BHrD** a estrutura também é dependente da presença regular de áreas em processo de sucessão secundária. Clareiras naturais, aberturas no dossel e outras perturbações levam a formação de mosaicos de diferentes níveis de sucessão. Os dados de estrutura podem ser utilizados, em conjunção com a fitofisionomia, para entender o estágio de regeneração da floresta analisada. Para chegar a isto, adotamos os parâmetros descritos na Resolução CONAMA Nº 392, de 25 de junho de 2007, MG (MMA, 2007) e na Resolução CONAMA Nº 29, de 07 de dezembro de 1994, ES (MMA, 1994).

De maneira geral, é necessário que haja a definição precisa da fitofisionomia observada, pois este fator junto de aspectos de impactação/pressões correntes e pretéritos são os melhores norteadores para explicar resultados sobre parâmetros de área basal e

densidade de indivíduos por parcela. Esta abordagem é congruente à hipótese principal do estudo, que busca entender se a distância do rio Doce é o fator principal como estruturante das consequências do impacto do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana.

Este relatório traz as análises de dados primários de estrutura da vegetação e secundários, através do levantamento de espécies de ocorrência conhecida para a **BHrD**, resultantes do primeiro ano de coleta de dados para o monitoramento da flora terrestre lenhosa nos módulos RAPELD, segundo os objetivos dispostos nos Pareceres Técnicos 1/2017-COREC/CGBIO/DBFLO de 08 de maio de 2017, e 15/2017-COREC/CGBIO/DBFLO de 11 de setembro de 2017 (IBAMA-COREC, 2017a, 2017b).

Este primeiro relatório contempla:

- Medição e classificação da estrutura da vegetação;
- Avaliação das taxas de ocupação em relação à distância do rio Doce, dentre outros marcos naturais ou antropogênicos;
- Avaliação da estrutura e a biomassa da flora terrestre;
- Início da série temporal de avaliação da história demográfica das populações das espécies de flora, para uma continuidade de 10 anos posteriores;
- Definir os impactos que podem afetar os táxons monitorados.

1.2. Revisão de literatura

A literatura científica sobre a flora na região do Vale do rio Doce é vasta e importante. No que se refere à florística, no estado de Minas Gerais, LOMBARDI & GONÇALVES (2000) revisaram as exsicatas depositadas no BHCB (Herbário da Universidade Federal de Minas Gerais) coletadas em dois fragmentos de Mata Atlântica no Vale do rio Doce, no interior do estado de Minas Gerais, a Estação Biológica de Caratinga (município de Caratinga) e o Parque Estadual do Rio Doce (PERD; municípios de Marliéria, Timóteo e Dionísio), resultando no levantamento de 3.366 exsicatas, 1.048 espécies, de 538 gêneros e 123 famílias. Posteriormente, a lista foi atualizada com a exclusão de 11 espécies e inclusão de outras 90, finalizando com um total de 1.127 taxa nas duas localidades citadas (GONÇALVES; LOMBARDI, 2004).

Em relação à fitossociologia, na região do médio rio Doce, ainda em Minas Gerais (municípios de Marliéria e Dionísio), em floresta em regeneração natural foram identificadas 43 espécies arbóreas, de 23 famílias botânicas e uma densidade de 1.247 ind./ha (DRUMOND; MEIRA-NETO, 1999). Também no médio rio Doce, uma caracterização fitossociológica da vegetação herbácea de áreas alteradas pela atividade agropecuária levou a identificação de 62 espécies, de 20 famílias botânicas (CURTINHAS et al., 2010). Também no médio rio Doce, FRANÇA & STEHMANN (2013) realizaram estudo da florística e estrutura do componente arbóreo de remanescentes de Mata Atlântica, no PERD e seu entorno (municípios de Dionísio, Timóteo, Ipaba e Pingo D'Água), e identificaram 373 espécies, de 195 gêneros e 61 famílias. Ainda na região, um estudo sobre a estrutura fitossociológica de FESD, durante cinco anos, reportou *Apuleia leiocarpa*, *Brosimum guianense*, *Mabea fistulifera*, *Pseudopiptadenia contorta* e *Xylopia sericea* como as de maiores Índices de Valores de Importância (IVI) e uma média de 1.459 ind./ha (SOUZA et al., 2012). O componente arbóreo de FESD Montana secundária foi estudado na Estação de Pesquisa e Desenvolvimento Ambiental de Peti (EPDA-Peti), municípios de Santa Bárbara e São Gonçalo do Rio Abaixo, levantando 191 espécies, pertencentes a 116 gêneros e 45 famílias, sendo Fabaceae, Myrtaceae e Lauraceae as famílias mais importantes (LOPES et al., 2009). No município de Dionísio, a diversidade florística e estrutura fitossociológica em gradiente topográfico de FESD foi estudado, resultando em 132 espécies, de 92 gêneros, e 38 famílias, dentre as quais Fabaceae possuiu a maior riqueza de espécies (SOUZA; MEIRA NETO; SOUZA, 2013).

No Espírito Santo, PEIXOTO et al. (2008) revisaram as exsicatas depositadas no CVRD (Herbário da Reserva Florestal Natural da Vale) sobre as Florestas de Tabuleiro ao norte do Vale do rio Doce (municípios de Linhares e Sooretama), herbário com ca. 10.000 amostras na data da publicação, resultando em 2.265 espécies de plantas vasculares para a região, com as famílias Fabaceae, Myrtaceae e Rubiaceae como as mais representativas. As Florestas de Muçununga da Reserva Florestal Natural da Vale, no município de Linhares, também foram estudadas quanto a florística e estrutura do componente arbóreo, onde foram identificadas 79 espécies arbóreas, de 29 famílias, sendo Myrtaceae e Lauraceae as mais ricas, e a densidade total estimada de 1.643 ind./ha (SIMONELLI et al., 2008). ROLIM et al. (2006) também estudaram a florística do estrato arbóreo em Floresta Estacional Semidecidual na planície aluvial do rio Doce, no município de Linhares, registrando 408 espécies, de 214 gêneros e 59 famílias, com as famílias Fabaceae, Myrtaceae e Sapotaceae como as de maior riqueza.

As formações de restinga de Regência, município de Linhares, foram inventariadas por COLODETE & PEREIRA (2007), que registraram dez espécies, de nove famílias, sendo Fabaceae a de maior riqueza. No norte do estado capixaba as restingas também foram estudadas, no Parque Estadual de Itaúnas (Conceição da Barra), onde foram registradas 42 espécies, de 28 famílias, sendo Fabaceae e Bromeliaceae as de maior riqueza (MONTEIRO et al., 2014). Também na localidade de Itaúnas, a florística e estrutura de formações de restinga de dunas foram inventariadas: 114 espécies, de 38 famílias foram identificadas; Myrtaceae e Fabaceae foram as famílias de maior riqueza (GIARETTA; MENEZES; PEREIRA, 2013). Ainda no Espírito Santo, em formações de campos nativos, a composição florística e heterogeneidade ambiental foi estudada, onde foram identificadas 61 espécies, de 32 famílias (FERREIRA; NASCIMENTO; MENEZES, 2014). Por fim, PAULA et al. (2009) estudaram a florística e estrutura de fragmentos florestais no entorno da lagoa Juparanã, município de Linhares, resultando no levantamento de 118 espécies, de 74 gêneros, e 31 famílias.

As macrófitas aquáticas foram estudadas na Lagoa Silvana, próximo ao PERD, na APA Lagoas de Caratinga (PIVARI et al., 2008). Os autores registraram 56 espécies, distribuídas em 35 famílias botânicas. Posteriormente, outros sistemas lacustres foram estudados no Vale do rio Doce, no PERD e em sua zona de amortecimento: um mosaico de ca. 150 lagoas e brejos, registrando 184 espécies, de 121 gêneros e 64 famílias (PIVARI et al., 2011). Em 1998, um levantamento das Pteridófitas do PERD, inventariou 57 espécies, de 27 gêneros e 15 famílias, das quais Pteridaceae e Thelypteridaceae, foram as mais representativas (GRAÇANO; PRADO; AZEVEDO, 1998). Posteriormente, outras áreas foram amostradas na **BHRD**, na Estação Biológica de Caratinga (EBC) e no PERD, identificando 102 espécies, de 43 gêneros e 18 famílias na EBC e 123 espécies, de 43 gêneros e 19 famílias no PERD (MELO; SALINO, 2002). Ainda no PERD, BORTOLUZZI et al. (2003) inventariaram as espécies arbóreas e de arbustos escandentes da família Fabaceae (subfamília Papilionoideae), identificando 22 táxons de 8 gêneros.

Em relação a ameaças, são atualmente reconhecidas 166 espécies de plantas ameaçadas de extinção ocorrentes ou potencialmente ocorrentes na região do Vale do rio Doce (GOLDER ASSOCIATES, 2016).

1.3. Objetivos específicos

- Avaliar e descrever os impactos do rompimento sobre a flora terrestres e de transição água-terra;
- Realizar, no primeiro ano de atividades, uma avaliação ecológica rápida para avaliar a estrutura e a biomassa, composição e abundância de espécies da flora terrestre e transição água-terra, bem como de solos associados;
- Definir as espécies indicadoras da flora, bem como as áreas prioritárias e os processos ecológicos que serão objeto de monitoramento de longo prazo em programas específicos (após o primeiro ano de avaliação);
- Definir quais e como os impactos afetam os táxons monitorados.

1.4. Material e métodos

1.4.1. Período de estudo

O estudo da flora foi desenvolvido por até 5 equipes simultaneamente em campo durante toda a estação seca do ano de 2018 até o início da estação chuvosa, em meados da primavera (**Quadro 1**). As equipes executoras eram compostas por biólogos e auxiliares de campo. As parcelas do BA4 não foram amostradas em campo para medição de área basal e variáveis estruturais porque os módulos tiveram seu acesso interrompido por questões de segurança do trabalho.

Quadro 1. Períodos de campo para o estudo da Flora durante o primeiro ano de estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Equipe	Período	Atividade
1	23/04/2018 – 12/05/2018	Medição e Marcação de Árvores
2	02/05/2018 – 22/05/2018	Medição e Marcação de Árvores
1	11/06/2018 – 30/06/2018	Medição e Marcação de Árvores
2	11/06/2018 – 30/06/2018	Medição e Marcação de Árvores
3	11/06/2018 – 30/06/2018	Medição e Marcação de Árvores
1	11/07/2018 – 30/07/2018	Medição e Marcação de Árvores
2	11/07/2018 – 30/07/2018	Medição e Marcação de Árvores
3	11/07/2018 – 30/07/2018	Medição e Marcação de Árvores
1	15/08/2018 – 31/08/2018	Medição e Marcação de Árvores
2	15/08/2018 – 31/08/2018	Medição e Marcação de Árvores
1	12/09/2018 – 10/10/2018	Medição e Marcação de Árvores
2	12/09/2018 – 10/10/2018	Medição e Marcação de Árvores
3	01/10/2018 – 31/10/2018	Medição e Marcação de Árvores

Equipe	Período	Atividade
4	01/10/2018 – 27/10/2018	Medição e Marcação de Árvores
5	01/10/2018 – 31/10/2018	Medição e Marcação de Árvores
1	13/11/2018 – 29/11/2018	Medição e Marcação de Árvores
2	12/11/2018 – 30/11/2018	Medição e Marcação de Árvores
1	16/10/2018 – 04/11/2018	Identificação Botânica
2	16/10/2018 – 04/11/2018	Identificação Botânica
1	09/11/2018 – 19/11/2018	Identificação Botânica
2	09/11/2018 – 19/11/2018	Identificação Botânica

1.4.2. Procedimentos de campo

1.4.2.1. Sistemas de amostragem

O trabalho de campo seguiu o protocolo RAPELD e foi realizado nas parcelas de amostragem padronizada, cada um com 250 m de comprimento, em três escalas de medição (**Figura 1**):

- Faixa 1 (F1): plantas com $1 \text{ cm} \geq \text{DAP} \leq 10 \text{ cm}$, em uma área de 250 m x 1,5 m (375 m²), chamada de área sensível, onde se pode realizar pesquisas com organismos mais sensíveis e delicados;
- Faixa 2 (F2): plantas com $10 \text{ cm} \geq \text{DAP} \leq 30 \text{ cm}$ em uma área de 250 m x 20 m (5.000 m²), 10 m para cada lado da linha central da parcela;
- Faixa 3 (F3): plantas com $\text{DAP} \geq 30 \text{ cm}$ em uma área de 250 m x 40 m (10.000 m²), 20 m de cada lado da linha central da parcela.

Para cada indivíduo registrado foram coletados os dados de suas coordenadas espaciais, X e Y², e os mesmos foram plaqueados com número de identificação (**Foto 1**). As parcelas foram delimitadas em campo por equipe de topografia especializada, que as demarcou com piquetes a cada 10 m, e seu corredor central foi também delimitado e limpo para acesso das equipes.

² Esta etapa do estudo não foi terminada por razões logísticas. Apenas 15% das parcelas tiveram suas árvores medidas quanto a esse quesito espacial.



Foto 1. Biólogo realizando medida de posição relativa de indivíduo arbóreo (X e Y) em parcela do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

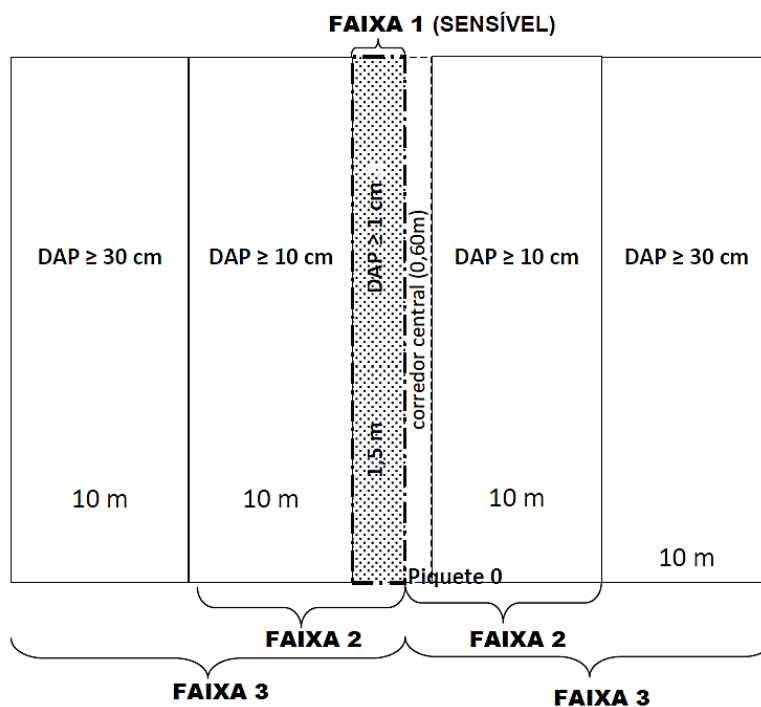


Figura 1. Faixas de coleta diferencial de dados nas parcelas de monitoramento de vegetação do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

1.4.2.2. Processamento taxonômico-ecológico

As espécies encontradas foram identificadas em campo ou fotografadas para posterior identificação, por comparação em herbários e/ou por meio de literatura especializada. A nomenclatura das espécies segue o sistema de classificação *Angiosperm Phylogeny Group IV* (CHASE et al., 2016), a Lista de Espécies da Flora do Brasil (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2019) e o website Tropicos.org, do *Missouri Botanical Garden* (<http://www.tropicos.org/>). A classificação de espécies ameaçadas foi realizada de acordo com a revisão das listas das espécies da flora ameaçadas de extinção (MMA, 2014a) e lista oficial de espécies da flora do Brasil (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2019).

1.4.2.3. Classificação das fitofisionomias

Para a denominação das tipologias existentes e a classificação das fitofisionomias encontradas foi utilizado o levantamento realizado para o uso do solo por GOLDER ASSOCIATES (2016) pois é um estudo mais atual já realizado para a área e também a mais completa para todas as parcelas, ressaltando que mesmo assim algumas delas ficaram fora do mapeamento pois este utilizou um *buffer* de 5 km ao redor do rio Doce, o que não foi capaz de contemplar à todas as unidades amostrais.

Para as parcelas em que foi feita a amostragem de identificação, foi utilizada a classificação proposta por VELOSO et al. (1991), modelo adotado também pelo IBGE (2012) e para a definição dos estágios sucessionais das fitofisionomias florestais observadas durante as campanhas de campo foram adotados os parâmetros descritos na Resolução CONAMA Nº 392, de 25 de junho de 2007, MG (MMA, 2007) e na Resolução CONAMA Nº 29, de 07 de dezembro de 1994, ES (MMA, 1994).

Os aspectos fitofisionômicos observados para caracterização dos estágios sucessionais das tipologias vegetais foram o porte dos indivíduos, a eventual dominância de espécies, a cobertura vegetal, presença de epífitas e lianas, formação de estratos verticais e presença de serapilheira, além de indícios de antropização, tais como indivíduos cortados ou queimados, presença de gado no interior das formações, entre outros.

1.4.2.4. Análise da estrutura

A estrutura da vegetação foi avaliada através dos parâmetros de área basal e densidade, variáveis que podem ser usadas para entendermos a organização e

distribuição espacial dos indivíduos na superfície do terreno (LAMPRECHT, 1990; MARTINS, 1991; MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). A densidade é o número de indivíduos que compõem uma comunidade vegetal por unidade de superfície. É um altamente sensível ao critério de inclusão (MARTINS, 2012), amenizado neste estudo pelo fracionamento do critério de inclusão em três faixas.

As faixas foram fracionadas em suas definições em campo, adaptadas para a área amostral de cada parcela (1 ha). As faixas, além de poderem ser definidas como uma localização específica na parcela, podem também ser compreendidas a partir do critério de seleção de circunferências das plantas que pode se estender para além dos limites traçados em campo. Portanto, nas análises realizadas, F1 foi definida como todo indivíduo que tivesse $DAP < 10$, F2 como os indivíduos de $10 \leq DAP < 30$ cm, e F3 os indivíduos de $DAP \geq 30$ cm, seus valores podendo ser extrapolados para o hectare.

A área basal é considerada como o melhor descritor para caracterizar estruturalmente uma comunidade e para fazer comparações entre elas (MARTINS, 2012), pois é uma medida da biomassa da vegetação, que influencia o microclima (luminosidade e temperatura), interceptação da água da chuva e a disponibilidade de abrigo e alimento para a fauna. Neste estudo, podemos extrair duas informações ao fracionarmos o critério de inclusão: dados coletados em F1 e aqueles advindos de F2/F3. Em F1, variações no microclima podem ser mais importantes, pois se trata de uma vegetação muito jovem, menos estabelecida, de certo modo sujeita ao tipo de variação e situações que as plantas das faixas F2/F3 proporcionam. Ao mesmo tempo ainda pode dar conta do aspecto do abrigo especialmente se conjugado com a densidade. Além disso, este parâmetro apresenta pouca variação entre fitofisionomias diferentes, uma vez que sofre pouca influência do critério de inclusão (MARTINS, 2012). A área basal é relacionada ao parâmetro fitossociológico da dominância, que expressa a influência de cada espécie na comunidade.

Os dados de número de indivíduos em cada faixa serão descritos em indivíduos por hectare (indivíduos*ha⁻¹) e os dados de Área Basal (ou área seccional) são derivados de medidas feitas a partir do diâmetro de cada árvore e ajustadas pela equação:

$$AB = \pi * \left(\frac{DAP^2}{40.000} \right)$$

sendo este valor dado em m².

1.4.2.5. Medidas no POM (Ponto de Medição)

Em geral, os indivíduos arbóreos são medidos na altura de 1,3 m do solo, mas caso houvesse alterações no tronco que comprometessem a coleta de dados, o POM foi alterado considerando os critérios estabelecidos do protocolo RAPELD (**Figura 2**). Nos indivíduos com diâmetro inferior a 6 cm, foi utilizado um paquímetro analógico. Para os demais as medidas foram tomadas com fita métrica. Todos os fustes abaixo de 1,3 m do solo, que se enquadravam nos critérios de inclusão das faixas foram medidos. Para não comprometer a segurança das equipes em campo, não foi possível coletar o diâmetro de árvores que apresentavam sapopemas ou raízes de escoras altas, acima de 1,8 m.

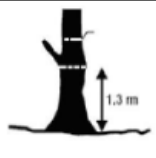
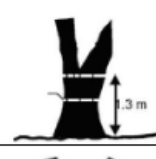
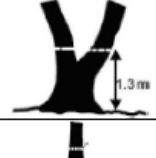
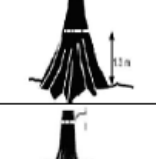
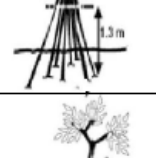
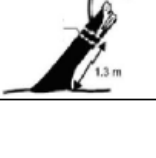
	Novo ponto da medida	Árvore com injúria, ferimento, nódulos ou qualquer tipo de deformidade na altura de 1.30 m do solo.	Medir o <u>diâmetro na parte mais cilíndrica do caule, acima de 1.30 m</u> . Anotar o novo POM.
	Novo ponto da medida	Árvore com bifurcação a 1.30 m do solo.	Medir o <u>diâmetro 20 cm abaixo da bifurcação</u> . Anotar o novo POM.
	Novo ponto da medida	Árvore com bifurcação abaixo de 1.30 m do solo.	Medir o <u>diâmetro de cada ramo separadamente a 1.30 m do solo</u> .
	Novo ponto da medida (POM)	Árvore com sapopemas na altura de 1.30 m do solo.	Medir o <u>diâmetro na parte mais cilíndrica do caule, no mínimo 1 m acima das raízes</u> . Anotar o novo POM.
	Novo ponto da medida (POM)	Árvore com raiz escora ou com raízes adventícias na altura de 1.30 m do solo.	Medir o <u>diâmetro na parte mais cilíndrica do caule, no mínimo 1 m acima das raízes</u> . Anotar o novo POM.
	Novo ponto da medida (POM)	Árvore quebrada a 1.30m do solo com rebroto.	Medir o <u>diâmetro 20 cm abaixo do ponto da quebra</u> . Anotar o novo POM e a condição da árvore.

Figura 2. Critérios de medição de árvores relativas às irregularidades dos troncos, utilizadas no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Fonte: (CASTILHO *et al.*, 2014).

As placas de identificação das plantas, em geral, foram colocadas a 1,6 m da base da árvore, mas no caso de necessidade, alterações foram efetuadas seguindo as orientações do protocolo RAPELD. Assim como na pintura dos fustes, as plaquetas foram colocadas sempre voltadas para a linha central para facilitar a identificação dos indivíduos a partir do corredor central (**Foto 2**).



Foto 2. Indivíduos arbóreos marcados com tinta e plaquetas de metal após aferição das medidas de estrutura em parcela do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

1.4.2.6. Tratamento das sobreposições entre segmentos

Como as parcelas do método RAPELD seguem a curva de nível, alguns seguimentos não são retilíneos, portanto, podendo haver áreas de sobreposição. Nos casos de sobreposição dos seguimentos, a área de sobreposição é incluída no segmento anterior.

Nesses casos, não são anotadas novamente as espécies incluídas no seguimento anterior (**Figura 3**).

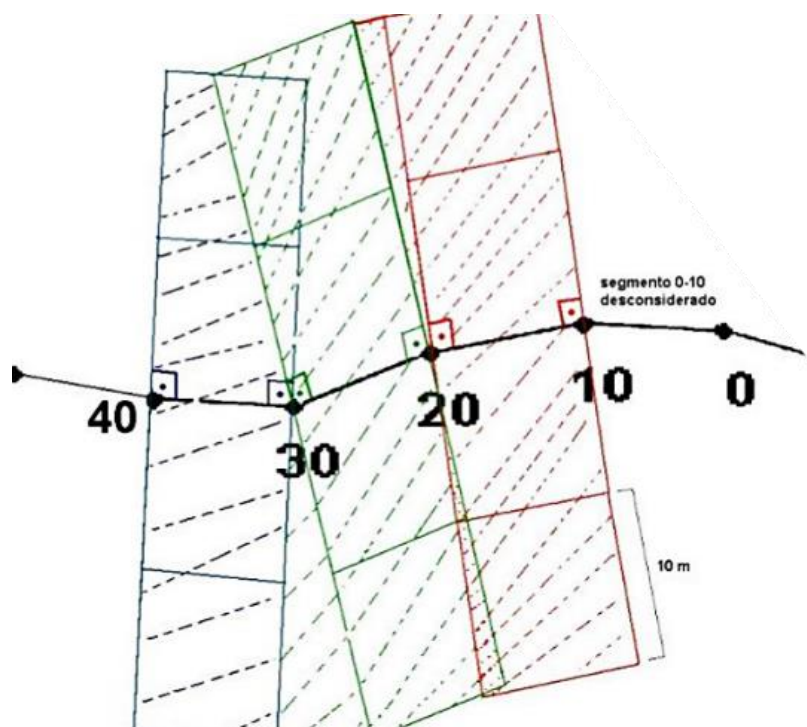


Figura 3. Tratamento das sobreposições entre segmentos usadas nas parcelas de monitoramento ao longo da **BHRD**, durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. As projeções são mostradas em cores diferentes. As áreas “a mais” entre os segmentos 1 e 2 são registradas como pertencente ao *segmento 1*, e a área que se sobrepõe nos segmentos 2 e 3 será registrada como pertencente ao *segmento 2* (CASTILHO et al., 2014).

1.4.3. Análise de dados

1.4.3.1. Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Os dados secundários sobre a identificação de espécies da flora para os municípios da **BHRD** foram obtidos a partir de busca específica por localidade dentro da base de dados do *SpeciesLink* ([Sistema de Informação para Coleções Científicas](#)), que compila e disponibiliza dados de centenas de coleções pelo país. Os registros para todas as espécies do reino Plantae foram extraídos em formato de banco de dados no MS Excel.

1.4.3.2. Status de conservação

A nomenclatura das espécies e *status* de conservação foi conferida e validada a partir da ferramenta [PlantMiner](#) que automatiza a validação de dados a partir da Lista Oficial de Plantas do Brasil (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2019). Os detalhes sobre os critérios utilizados para a classificação das espécies vegetais podem ser consultados diretamente no site da [CNCFlora](#).

1.4.3.3. Análises estatísticas

O processamento básico se deu através do programa Microsoft Office Excel, versão 2010. Para demais as análises foi utilizado o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2018), com os pacotes *Vegan* (OKSANEN et al., 2019), *Labdsv* (ROBERTS, 2012), *spdep* (BIVAND, 2019) e pacote acessório *ggplot2* (WICKHAM, 2009). As análises seguem LEGENDRE & LEGENDRE (2012) e BORCARD et al. (2011).

1.5. Resultados

1.5.1. Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Foram encontrados 14.498 registros de depósito de espécimes vegetais de diferentes linhagens filogenéticas para todos os municípios da **BHrD**, exceto para Bugre e Fernandes Tourinho, ambos localizados no estado de Minas Gerais. Também não há registros de espécies vegetais para estes municípios na literatura especializada. Deste total, 8.465 registros são referentes a municípios do Espírito Santo, sendo Linhares o município com maior de registros de coletas (3.220) e 6.031 são referentes a municípios de Minas Gerais, sendo Mariana o município com maior registro de coletas (1.767; **APÊNDICE 10**).

Do registro total de depósito de espécimes vegetais, 13.408 (92%) são de Angiospermas, que é o grupo de plantas mais diverso (BYNG; CHRISTENHUSZ, 2018), sendo as famílias com maior registro de coletas Fabaceae (1.609 registros) Myrtaceae (635 registros), Asteraceae (728 registros), Rubiaceae (553 registros), Orchidaceae (522 registros), Melastomataceae (430 registros), Bignoniaceae (399 registros), Poaceae (395 registros), Apocynaceae (317 registros), Solanaceae (311 registros), Malvaceae (313 registros), Bromeliaceae (307 registros), Malphighiaceae (291 registros), Lauraceae (269 registros), Cyperaceae (247 registros) e Piperaceae (218 registros; **APÊNDICE 10**). Embora tenha sido registrado uma grande quantidade de

espécies da família Bignoniaceae e Malvaceae, que não estão entre as mais abundantes para a Mata Atlântica, as demais famílias levantadas estão entre as 10 mais diversas da mata Atlântica (FORZZA et al., 2010).

No total foram encontrados registros formais de 6.071 espécies vegetais, mas de acordo com a literatura são registradas 11.304 espécies vegetais para o estado de Minas Gerais e 4.724 espécies para o estado do Espírito Santo, incluindo angiospermas, gimnospermas, plantas vasculares sem sementes e plantas avasculares, sendo Angiospermas o grupo mais diverso (**Quadro 2**) (FORZZA et al., 2010).

Quadro 2. Espécies de angiospermas, gimnospermas, plantas vasculares sem sementes e plantas avasculares registradas para o estado de Minas Gerais e Espírito Santo e para a **BHrD** (FORZZA et al., 2010).

	Estado de MG*	Estado ES*	Rio Doce
Bríofitas	681	419	183 (166 ES; 17 MG)
Vasculares sem sementes	580	331	333 (89 ES; 244 MG)
Gimnospermas	4	3	1 (ES)
Angiospermas	10.039	3.971	5.554 (3.283 ES; 2.271 MG)
Número total de espécies	11.304	4.724	6.071

Os municípios da **BHrD** estão inseridos no domínio da Mata Atlântica, bioma que apresenta a maior diversidade de Angiospermas no Brasil, fortemente influenciada pelas altas taxas de endemismo e de raridade, sendo registradas 13.972 espécies (FORZZA et al., 2010). Considerando apenas as espécies de angiospermas levantadas para a **BHrD**, foram registradas 5.554 espécies (91%), sendo as famílias Fabaceae, Asteraceae e Orchidaceae as mais abundantes (N = 656; **Quadro 3**). As espécies de angiospermas apresentam impactante capacidade de crescimento e estocagem de biomassa, contribuindo para a formação de grandes florestas, as quais são fonte de abrigo, alimento e demais recursos imprescindíveis para animais. Além disso, as florestas tropicais formadas predominantemente por espécies de angiospermas, contribuem para o crescimento e desenvolvimento de outros organismos vegetais como as plantas avasculares e vasculares sem sementes e também de fungos (MMA; SFB, 2009).

Quadro 3. Espécies das famílias de plantas vasculares mais abundantes registradas para os municípios da **BHRD**. Dados obtidos a partir de busca nos bancos de dados de coleções científicas presentes no *SpeciesLink*.

Municípios da BHRD	Riqueza de espécies
Mariana	312
Linhares	219
Fundão	98
Conceição da Barra	94
Marliéria	70
Serra	62
São Mateus	57
Caratinga	52
Aracruz	48
Ponte Nova	48
Marilândia	30
Colatina	28
Conselheiro Pena	16
Governador Valadares	14
Timóteo	12
Barra Longa	11
Dionísio	7
Bom Jesus do Galho	6
Baixo Guandu	6
Tumiritinga	5
Rio Doce	5
Raul Soares	5
Rio Casca	5
Aimorés	5
Santana do Paraíso	4
Ipaba	4
Naque	4
São Pedro dos Ferros	3
Ipatinga	2
Sem Peixe	2
Córrego Novo	1
Itueta	1
Santa Cruz do Escalvado	1
São Domingos do Prata	1
Pingo d'água	1
Total	656

1.5.2. Espécies de ampla ocorrência na Bacia Hidrográfica do rio Doce

De todas as espécies levantadas, *Myrcia splendens* (Myrtaceae) é a espécie vegetal mais amplamente distribuída no rio Doce, com registros em 19 diferentes municípios. *Piper arboreum* (Piperaceae) e *Tapirira guianensis* (Anacardiaceae) ocorrem em 16 municípios, *Cyrtocymura scorpioides* (Asteraceae) em 15 municípios, *Guarea guidoniae*, *Trichilia pallida* (Meliaceae), *Lundia corymbifera* (Bignoniaceae), *Monstera adansonii* (Araceae), *Oeceoclades maculata* (Orchidaceae), *Pseudopiptadenia contorta*,

Senegalia tenuifolia e *Swartzia apetala* (Fabaceae) e *Trema micrantha* (Cannabaceae) ocorrem em 14 municípios (**Quadro 4**).

Quadro 4. Espécies de plantas vasculares de ocorrência mais ampla nos municípios da **BHrD**.

Dados obtidos a partir de busca nos bancos de dados de coleções científicas presentes no *SpeciesLink*.

Espécies	Municípios da BHrD
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	19
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	16
<i>Piper arboreum</i> Aubl.	16
<i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H. Rob.	15
<i>Trichilia pallida</i> Sw.	14
<i>Pseudopiptadenia contorta</i> (DC.) G.P. Lewis & M.P. Lima	14
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	14
<i>Lundia corymbifera</i> (Vahl) Sandwith	14
<i>Oeceoclades maculata</i> (Lindl.) Lindl.	14
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	14

O registro de ocorrência de uma mesma espécie em vários municípios é importante para o estudo de monitoramento do impacto do rompimento da barragem de Fundão, visto que ajudará a selecionar espécies que podem ser acompanhadas nas análises futuras em diferentes pontos, tanto da área impactada quanto não impactada. Embora *Myrcia splendens*, seja uma espécie amplamente distribuída, não há registro de ocorrência em todos os municípios específicos dos Blocos Amostrais, onde estão inseridas as parcelas de amostragem. As espécies lenhosas *Pseudopiptadenia contorta*, *Pterocarpus rohrii* (Fabaceae) e *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae) apresentam registros de coleta em municípios onde estão instaladas parcelas de todos os Blocos Amostrais, evidenciando uma distribuição ampla, com ocorrência desde Mariana – MG até Linhares – ES.

Pseudopiptadenia contorta é uma espécie lenhosa, típica de Mata Atlântica, com distribuição espacial do tipo agregado (FILHO et al., 2015). *Mabea fistulifera* é típica da Mata Atlântica (STEHMANN et al., 2009), mas também com ocorrência no Cerrado (CAMPOS FILHO et al., 2015), em matas em diferentes estágios sucessionais (GOULART; RIBEIRO; LOVATO, 2005). *Pterocarpus rohrii* ocorre na Mata Atlântica e também em outros domínios como Cerrado, Amazônia e Caatinga (CAMPOS FILHO et al., 2015), em Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual e Restinga.

Devido a diversidade de ambientes ocupados e a presença destas espécies nos municípios onde estão instaladas as parcelas de cada um dos Blocos Amostrais, estas espécies podem ser acompanhadas em estudos futuros do monitoramento do impacto do rompimento da barragem de Fundão.

1.5.3. Espécies ameaçadas da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Das 6.071 espécies vegetais registradas, 5.098 espécies não apresentam registros ou apresentam dados insuficientes para a análise quanto à sua vulnerabilidade e apenas 972 são classificadas em algum *status* de vulnerabilidade quanto à sua conservação. O baixo número de espécies vegetais com *status* de vulnerabilidade indicada pelo CNCFlora revela que muitas espécies ainda necessitam ser estudadas e avaliadas quanto à sua presença e conservação em suas áreas de ocorrência natural, indicando se são plantas vulneráveis e com risco de extinção.

Destas 1.084 espécies classificadas pelo CNCFlora, 613 são classificadas como Menos Preocupante (LC), sendo estas abundantes e amplamente distribuídas e 359 espécies estão sob maior ameaça de extinção. Destas, 28 espécies são Criticamente Ameaçadas (CR), 89 espécies Vulneráveis (VU), 109 espécies Quase Ameaçadas (NT) e 134 espécies Em Perigo (EN). As espécies vegetais classificadas como Quase Ameaçadas (NT) podem estar perto de serem classificadas em uma categoria de ameaça de extinção, pois podem já estar enfrentando risco de extinção elevado na natureza, devido a contínua degradação e desflorestamento dos ambientes naturais da **BHRD**. Dados de 2009 mostram que restam menos de 10% das áreas da Mata Atlântica em Minas Gerais e ca. 11% destas áreas naturais no Espírito Santo (MMA; SFB, 2009). Embora o bioma Mata Atlântica seja um dos mais diversos em espécies vegetais (FORZZA et al., 2010) também apresenta um histórico impactante de degradação, com um número elevado de plantas ameaçadas de extinção (MMA; SFB, 2009).

As famílias com maior registro de espécies classificadas como Criticamente em Perigo (CR), Em Perigo (EN), Vulneráveis (VU) e Quase Ameaçadas (NT) foram Asteraceae (27 espécies), Bromeliaceae (26 espécies), Fabaceae e Euphorbiaceae (23 espécies), Orchidaceae (22 espécies), Lauraceae (20 espécies) e Malpighiaceae e Myrtaceae (15 espécies; **APÊNDICE 10**), que estão também entre as famílias mais abundantes nos registros levantados. Mais da metade das espécies ocorrentes no Brasil das famílias Bromeliaceae (85,3%), Myrtaceae (76%), Orchidaceae (66,9%), Asteraceae (65,6%) e Euphorbiaceae (65,5%) são endêmicas (FORZZA et al., 2010), de modo que a

degradação de ambientes ao longo do rio Doce aumenta a vulnerabilidade de muitas destas espécies, as quais requerem características específicas para o seu desenvolvimento. Fabaceae e Lauraceae apresentam muitas espécies lenhosas que são amplamente utilizadas como fonte de recursos madeireiros. A retirada indiscriminada destas espécies de seu ambiente natural sem um controle apropriado, ao longo do histórico de ocupação da **BHRD** deixou estas espécies vulneráveis e em risco de extinção (MMA; SFB, 2009).

Das 28 espécies Criticamente Ameaçadas, 20 foram coletadas no Espírito Santo e oito em Minas Gerais. Das espécies de Minas Gerais destaca-se *Kielmeyera rufotomentosa*, cuja perda intensiva de habitat pode ter levado esta espécie à extinção. O desmatamento e perda de habitat intenso ameaça as espécies *Dorstenia hildegardis* e *Oxalis blackii*. Ainda em Minas Gerais, cinco espécies são típicas de regiões montanhosas do quadrilátero ferrífero, Serra do Caraça e Serra do Cipó (*Agalinis schwackeana*, *Cryptanthus caracensis*, *Heterocoma albida*, *Stevia hilarii*, *Vriesea longistaminea*) sendo fortemente ameaçadas pelas atividades mineradoras. Das espécies Criticamente Ameaçadas do Espírito Santo, destaca-se *Hirtella parviunguis*, que passa por intenso processo de perda de habitat, estando possivelmente extinta. Todas as demais espécies deste estado, passam por intenso processo de desmatamento, seja para instalação de cabruças, pastagem ou monocultura de eucalipto, ou por ocupação humana sem planejamento (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2019).

Das 89 espécies Vulneráveis do rio Doce 68 foram coletadas no Espírito Santo, sendo as famílias mais abundantes Orchidaceae e Fabaceae (8 espécies), Malpighiaceae (5 espécies), Bromeliaceae, Rubiaceae e Sapotaceae (4 espécies) e Arecaceae (3 espécies) e 21 coletadas em Minas Gerais, sendo Asteraceae a família mais abundante (4 espécies) e Orchidaceae (2 espécies; **Quadro 5**) (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2019).

Das 134 espécies Em Perigo, 91 foram coletadas no Espírito Santo, sendo as principais famílias Bromeliaceae (9 espécies), Myrtaceae (7 espécies), Chrysobalanaceae (6 espécies), Bignoniaceae, Malpighiaceae e Orchidaceae (5 espécies) Vochysiaceae, Lauraceae e Begoniaceae (4 espécies), Lecythidaceae, Rubiaceae e Sapotaceae (3 espécies) e 43 coletadas em Minas Gerais, sendo as principais famílias Asteraceae (7 espécies), Solanaceae (4 espécies), Bromeliaceae e Velloziaceae (3 espécies) (JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2019).

Quadro 5. Número de espécies de plantas vasculares por *status* de conservação por estado nos municípios da **BHRD**. Dados obtidos a partir de busca nos bancos de dados de coleções científicas presentes no *SpeciesLink*.

Status de conservação	ES	MG	Total
CR	21	8	28
DD	38	18	48
EN	100	49	134
LC	479	397	613
NA	3632	2892	5050
NT	78	58	109
VU	75	29	89
Total	4423	3451	6263

A presença destas plantas em listas de espécies ameaçadas de extinção em parte é justificada pela distribuição restrita a regiões de Mata Atlântica, que possui histórico de intensa degradação. Os registros disponíveis indicam que a maioria das espécies mais vulneráveis são conhecidas por poucos indivíduos coletados, muitas vezes restritos a áreas de reserva ambiental da Mata Atlântica³.

1.5.4. Blocos Amostrais

O conjunto de dados foi avaliado segundo as divisões dos Blocos Amostrais, separados pelas Faixas de amostragem (F1, F2, F3), em relação à distância do rio Doce. Nos itens subsequentes será feita a análise de segregação entre os delineamentos *dados de estrutura x distância do rio Doce*. As coletas em *Parcelas Ripárias*, que têm metade da área especificada para as Faixas 2 e 3 (2.500 e 5.000 m², respectivamente) tiveram seus resultados extrapolados para o valor da parcela inteira.

1.5.4.1. Faixa 1

A área basal e densidade foram positivamente relacionadas ao aumento da distância do rio Doce para o BA1 apenas para as *Parcelas Terrestres* (**Quadro 6; Figura 4**). A base de dados usada nas análises está apresentada no **APÊNDICE 11**.

³ <http://www.cncflora.jbrj.gov.br/portal>

Quadro 6. Regressão linear entre parâmetros descritores da estrutura da vegetação e a variável preditora (distância ao rio Doce) para a faixa F1 dos Blocos Amostrais 1 a 3 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Resultados significativos em fonte vermelha.

Parâmetro	Bloco Amostral	Abordagem	Coeficiente	R ² ajustado	p
Área Basal	BA1	Terrestres	0,0218	0,3996	2,77 ⁻⁰⁵
	BA2		0,0143	-0,1259	0,6575
	BA3		-0,0075	-0,0642	0,5750
	BA1	Ripárias	-0,0080	-0,159	0,8487
	BA2		NA	NA	NA
	BA3		0,0109	-0,1738	0,7517
Densidade	BA1	Terrestres	11,726	0,2166	0,0028
	BA2		13,452	0,1075	0,2234
	BA3		-2,725	-0,0952	0,8382
	BA1	Ripárias	-12,28	-0,1166	0,6224
	BA2		NA	NA	NA
	BA3		2	-0,1983	0,9361

1.5.4.1. Faixa 2

A área basal e densidade foram positivamente relacionadas ao aumento da distância do rio Doce para o BA1 apenas para as *Parcelas Terrestres* (**Quadro 7; Figura 5**). O BA2 mostrou tendência de relação positiva entre a área basal e distância do rio Doce. A base de dados usada nas análises está apresentada no **APÊNDICE 12**.

Quadro 7. Regressão linear entre parâmetros descritores da estrutura da vegetação e a variável preditora (distância ao rio Doce) para a faixa F2 do BA1 a BA3 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Resultados significativos em fonte vermelha, tendências em laranja.

Parâmetro	Bloco Amostral	Abordagem	Coeficiente	R ² ajustado	p
Área Basal	BA1	Terrestres	0,50789	0,5342	2,51 ⁻⁰⁷
	BA2		0,84	0,3856	0,0593
	BA3		0,1483	-0,0389	0,4610
	BA1	Ripárias	-0,7758	-0,1093	0,5507
	BA2		0,0089	-0,2000	0,9950
	BA3		0,0089	-0,2000	0,9950
Densidade	BA1	Terrestres	24,177	0,5346	2,48 ⁻⁰⁷
	BA2		32,84	0,2475	0,1190
	BA3		6,984	-0,0694	0,6040
	BA1	Ripárias	-31,39	-0,1322	0,6078
	BA2		5,872	-0,1983	0,9364
	BA3		5,872	-0,1983	0,9364

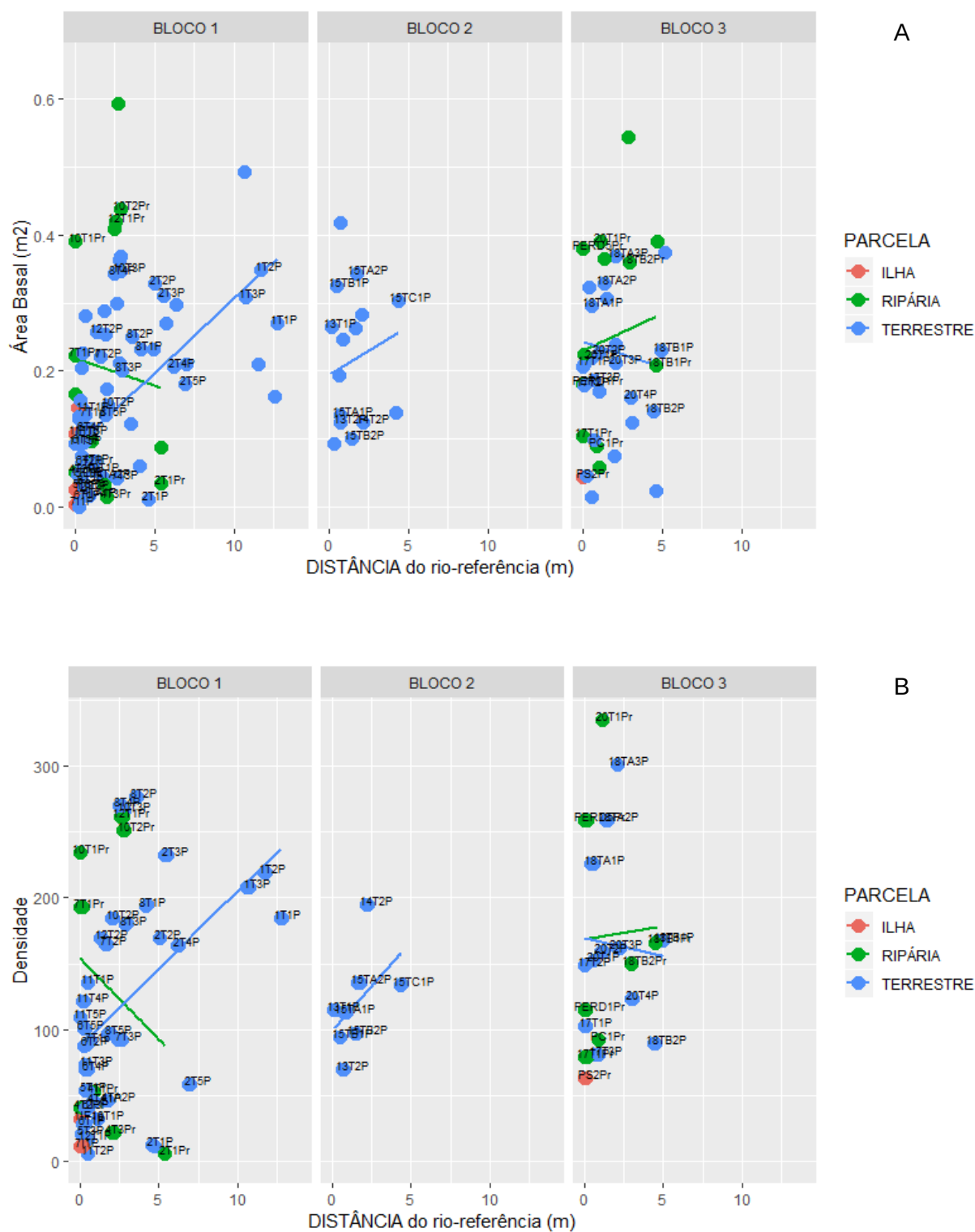


Figura 4. Regressão linear entre (A) valores de Área Basal (m^2) e (B) Densidade de indivíduos em relação à Distância do rio Doce, por BA e Abordagem para a Faixa 1 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

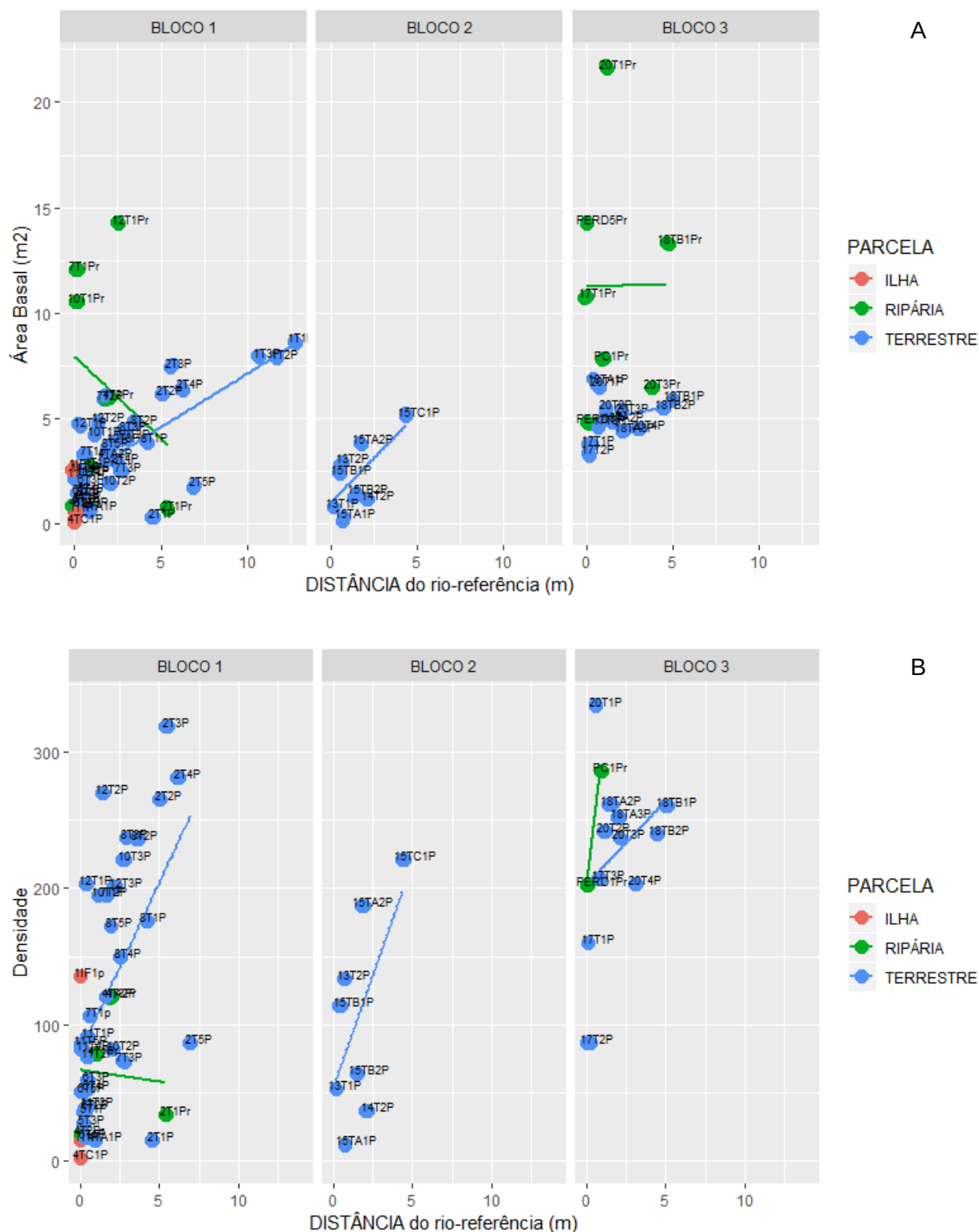


Figura 5. Regressão linear entre (A) valores de Área Basal (m^2) e (B) Densidade de indivíduos em relação à Distância do rio Doce, por BA e Abordagem para a Faixa 2 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

1.5.4.2. Faixa 3

A área basal foi negativamente relacionadas ao aumento da distância do rio Doce para o BA1 apenas para as *Parcelas Terrestres* (**Quadro 8; Figura 6**). Para o BA2, ambos os parâmetros foram positivamente relacionados à distância do rio Doce. A base de dados usada nas análises está apresentada no **APÊNDICE 13**.

Quadro 8. Regressão linear entre parâmetros descritores da estrutura da vegetação e a variável preditora (distância ao rio Doce) para a faixa F3 do BA1 a BA3 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Resultados significativos em fonte vermelha.

Parâmetro	Bloco Amostral	Abordagem	Coefficiente	R ² ajustado	p
Área Basal	BA1	Terrestres	-0,4595	0,1086	0,0321
	BA2		0,2048	0,8369	0,0009
	BA3		0,5691	0,0270	0,2798
	BA1	Ripárias	-2,3830	0,2279	0,1907
	BA3		0,3046	-0,1870	0,8244
Densidade	BA1	Terrestres	-0,0227	-0,0312	0,9750
	BA2		1,4001	0,8746	0,0004
	BA3		2,3030	0,0467	0,2431
	BA1	Ripárias	-8,8630	-0,0253	0,4020
	BA3		7,7160	0,1208	0,2347

1.5.1. Tratamento das parcelas com identificação botânica

Foram visitadas parcelas para identificação dos espécimes vegetais dentro do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e na região do norte do Espírito Santo (N.ES), no município de Linhares e em seu distrito de Regência (**Quadro 9**). São duas localidades naturalmente diferentes, verdadeiras fitorregiões ecológicas, pois as floretas do PERD são típicas de Florestas Estacionais Semidecíduais, altamente conservadas, presentes na Unidade de Conservação mais antiga do estado de Minas Gerais. As florestas localizadas em N.ES são em geral do tipo Floresta Ombrófila, ligadas ainda à deposição de sedimentos da formação Barreiras que originou uma formação ímpar na área do norte do Espírito Santo/ sul da Bahia, conhecida por Floresta sobre Tabuleiros e de alta diversidade natural. Nesta região há também influência direta do mar, capaz de originar vegetação de restinga (Sistema edáfico de 1ª ocupação; IBGE, 2012).

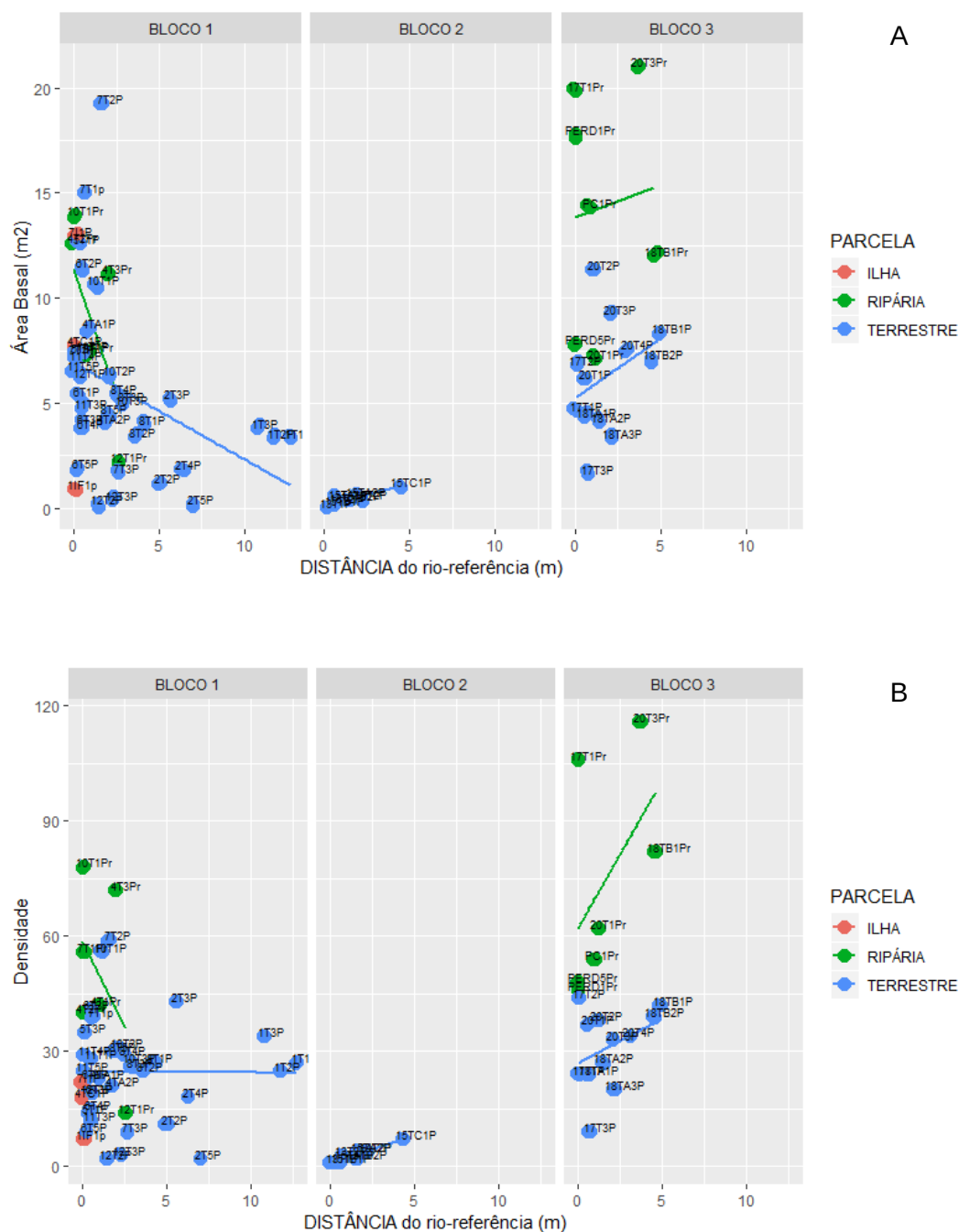


Figura 6. Regressão linear entre (A) valores de Área Basal (m^2) e (B) Densidade de indivíduos em relação à Distância do rio Doce, por BA e Abordagem para a Faixa 3 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Quadro 9. Parcelas amostradas para identificação botânica, sua distância ao rio Doce e localização macrorregional, componentes do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Parcela	Uso do solo	Distância (Km)	Local
02T1P	Restinga arbustiva	4,59	N.ES
02T1PR	Fora do Mapeamento de 5km	5,4	N.ES
02T2P	Restinga arbórea	5,04	N.ES
02T3P	Fora do Mapeamento de 5km	5,57	N.ES
02T4P	Restinga arbórea	6,23	N.ES
08T1P	Floresta densa	4,14	N.ES
18TB1P	Floresta densa	4,96	PERD
18TB1PR	Floresta densa	4,6	PERD
20T2P	Floresta densa	1,09	PERD
20T3P	Floresta densa	2,07	PERD

Nas parcelas amostradas registramos 66 famílias, 217 gêneros e 488 espécies para as duas regiões fitofisionômicas amostradas **APÊNDICE 14**. Para essas mesmas áreas, estimamos que estas áreas possuam 551 espécies, embora a curva de acumulação de espécies ainda se mostre com coeficiente positivo (**Gráfico 1**). A distribuição da densidade das amostragens sucessivas apresentou uma leve exposição de bimodalidade, provavelmente um efeito da presença de dois conjuntos de espécies, pertencentes às duas fitorregiões ecológicas amostradas.

Dentre as famílias com maior representatividade em riqueza de espécies estão Fabaceae com quase 70 espécies, Myrtaceae com mais de 50 espécies e Rubiaceae com quase 30 espécies. As famílias Lauraceae, Sapotaceae e Chrysobalanaceae possuíram ca. de 20 espécies. As demais famílias possuem menos de 3% da abundância relativa de espécies (**Figura 7**). Em relação aos gêneros, o mais abundante é *Eugenia* (N = 17), *Myrcia* e *Ocotea* (N = 13), e *Pouteria* (N = 10).

A contagem dos hábitos (formas de vida; **Gráfico 2**) a partir da biologia das espécies (segundo JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO, 2019), mostra que há predomínio do hábito arbóreo, como esperado de acordo com o escopo do estudo.

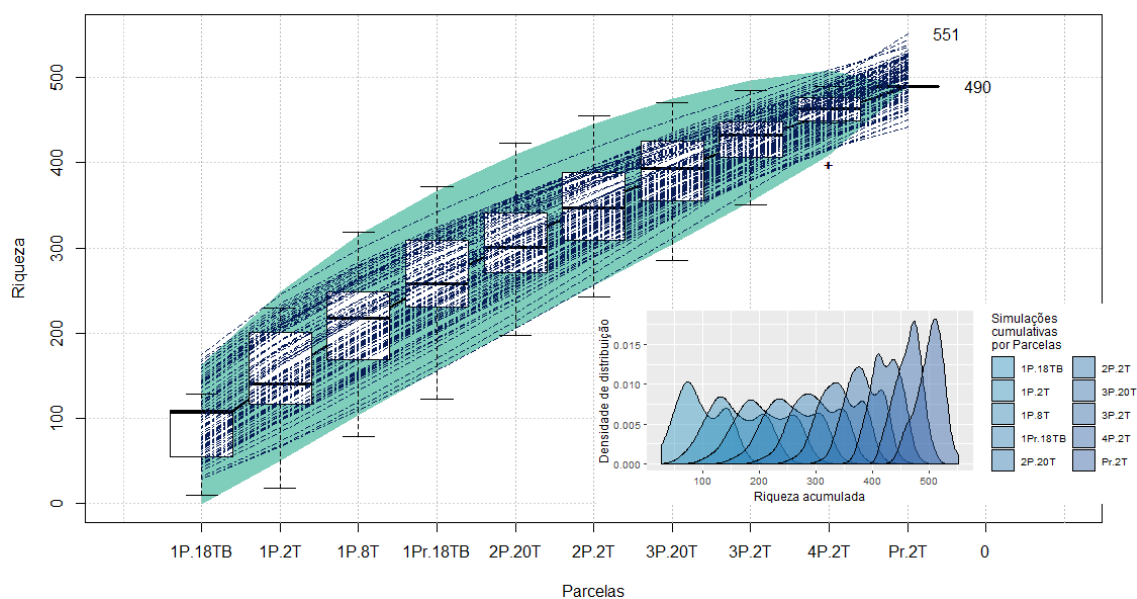


Gráfico 1. Curva de acumulação de espécies para as áreas do PERD e do Norte do Espírito Santo (N.ES) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

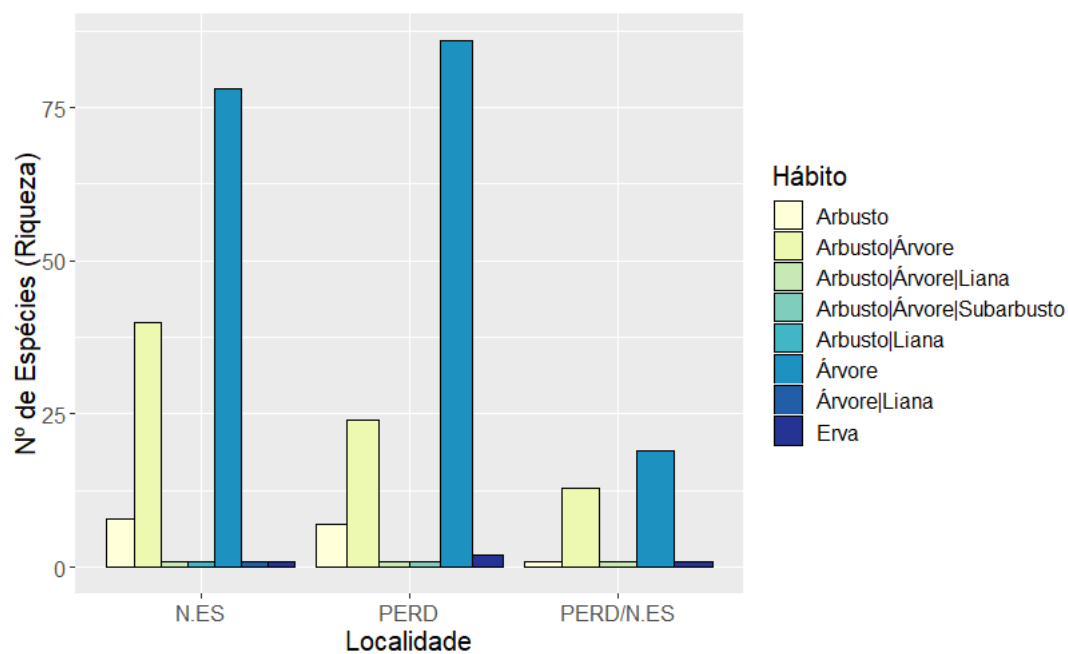


Gráfico 2. Riqueza florística por hábitos nas diferentes regiões fitofisionômicas amostradas para identificação botânica do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

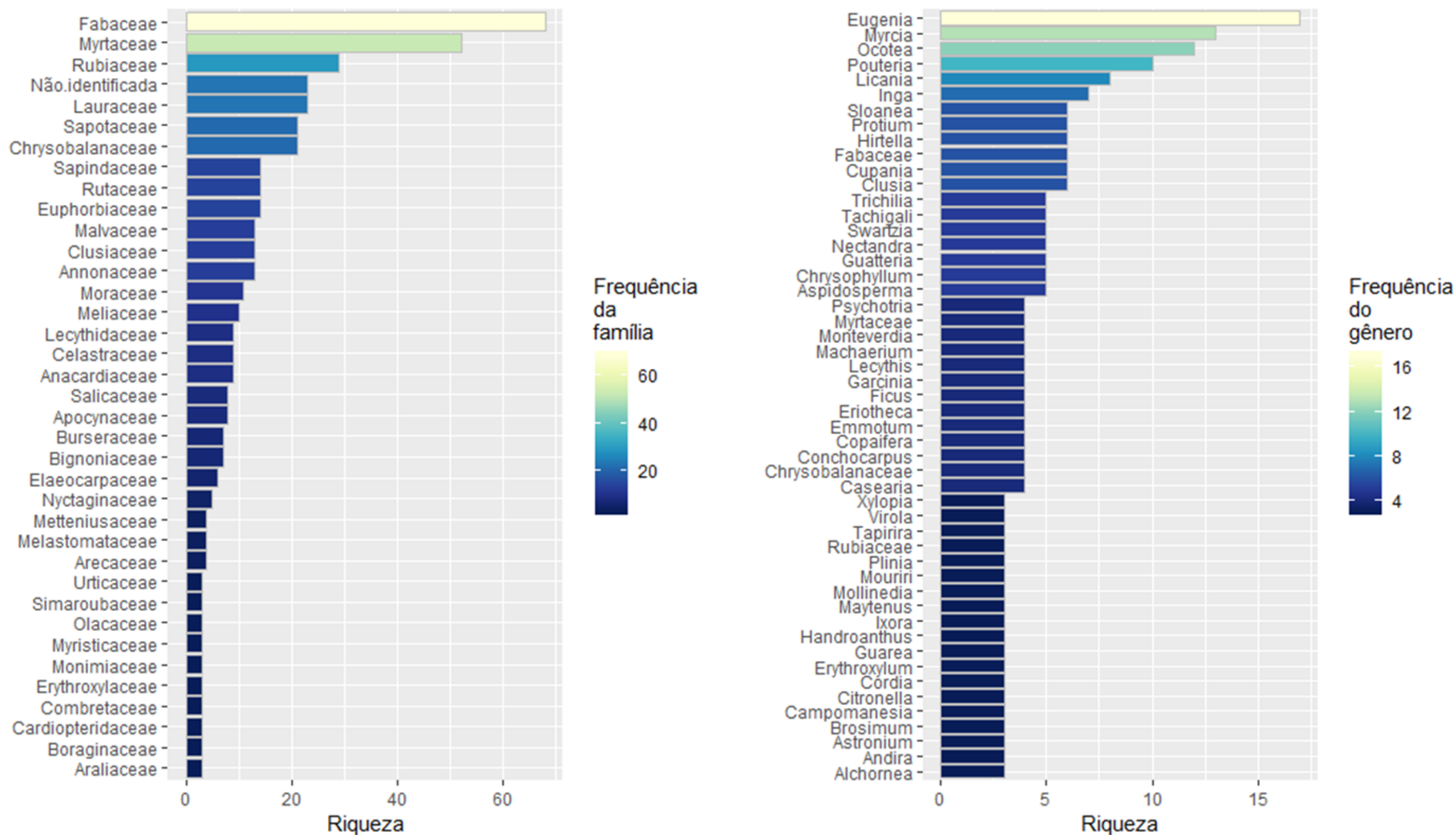


Figura 7. Número de espécies por família e gênero, com mais de três espécies do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Descartamos as espécies de classificação desconhecida (SC) para representar as estratégias de regeneração, ocupação do espaço natural e a forma de dispersão das espécies amostradas (**Figura 8**). Considerando os Grupos Ecológicos, as espécies secundárias ou climáticas e colocando as não-pioneiras neste conjunto, ca. 85% são espécies de classificação sucessional elevada, um valor extremamente alto. Para o Grupo Funcional, 94,2% são de guildas de diversidade, indicando que as florestas das duas regiões estão em estágios de regeneração avançados (**Figura 8**). A síndrome de dispersão mais frequente (71,8%) foi a biótica (**Figura 8**), como é esperado em ambientes florestais (STEFANELLO et al., 2010).

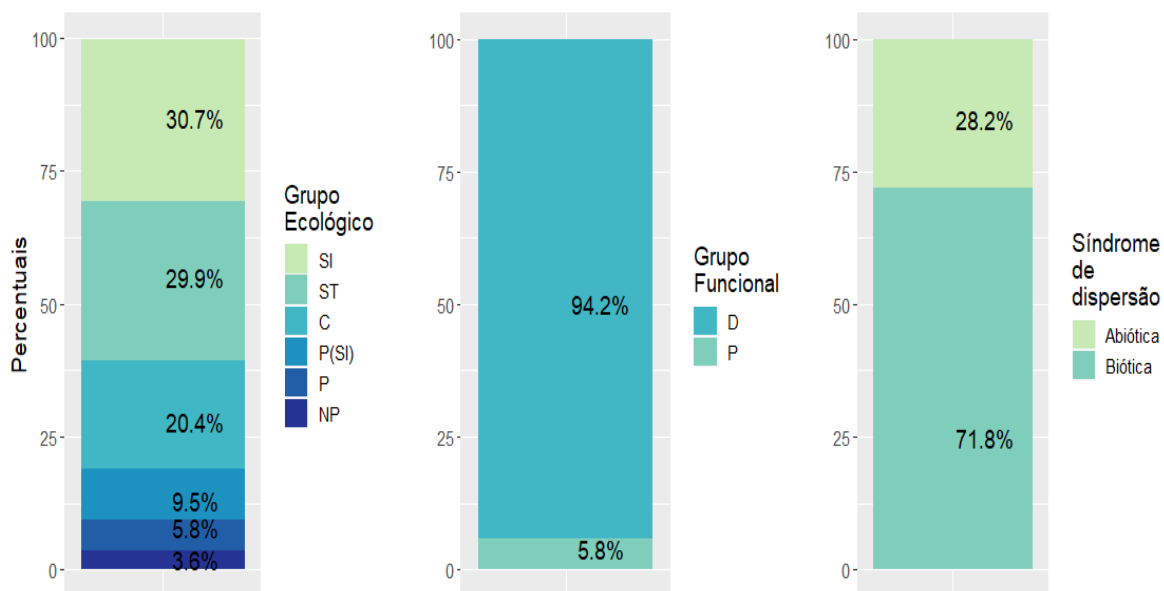


Figura 8. Frequência relativa de espécies vegetais por grupo ecológico, funcional e síndrome de dispersão registradas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Grupo ecológico: P – Pioneira; NP – Não Pioneira; SI – Secundária Inicial; ST – Secundária Tardia; C – Climática. Grupo funcional: P – Preenchimento D – Diversidade. SC – Sem Classificação. Fonte: BLUM (2007; 2006).

Registramos 14 espécies entre as categorias “em perigo” e “vulnerável”: *Apuleia leiocarpa*, *Cariniana legalis*, cf. *Melanopsidium nigrum*, *Chrysophyllum* cf. *imperiale*, *Dalbergia nigra*, *Euterpe edulis*, *Handroanthus riodocensis*, *Hirtella insignis*,

Melanoxylon brauna, *Neomitranthes* cf. *sctictophylla*, *Ocotea odorífera*, *Plinia* cf. *renatiana*, *Trattinnickia* cf. *ferruginea* e *Virola bicuhyba*. Outras 31 espécies são endêmicas (**APÊNDICE 15**). Não registramos espécies invasoras, o que pode ser sinal de certo grau de integridade nas áreas visitadas. Mesmo sem os dados completos de identificação das espécies ao longo dos módulos e parcelas instalados na **Área de Estudo** avaliamos a riqueza e diversidade em função à distância do rio Doce (**Figura 9**, **Figura 10**, **Quadro 10**). Não houve, em qualquer das comparações feitas, relações significativas entre as variáveis analisadas (**Quadro 11**).

Quadro 10. Riqueza e diversidade de espécies (Índice de *Shannon* e *Simpson*) nas parcelas amostradas para identificação botânica, distância para o rio Doce, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Parcela	Local	Distância	Riqueza	Shannon	Simpson
2T1P	N.ES	4,59	13	2,266221	0,862041
2TPR	N.ES	5,4	10	1,430132	0,592971
2T2P	N.ES	5,04	55	3,054969	0,92071
2T3P	N.ES	5,57	111	3,916797	0,964604
2T4P	N.ES	6,23	107	3,922153	0,966228
8T1P	N.ES	4,14	129	4,186401	0,969909
18TB1P	PERD	4,96	109	3,884978	0,960453
18TB1PR	PERD	4,6	109	4,042825	0,973523
20T2P	PERD	1,09	104	4,07491	0,973272
20T3P	PERD	2,07	61	2,106013	0,628655

Quadro 11. Resumo qualitativo das comparações entre parâmetros de riqueza e diversidade em relação à distância do rio Doce no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Parâmetro	Local	Inclinação	R ² ajustado	Significância
Riqueza	PERD	5,909	-0,1528	0,519
	N.ES	5,855	-0,2413	0,875
Diversidade	PERD	0,1671	-0,3336	0,667
	N.ES	0,06765	-0,2474	0,931

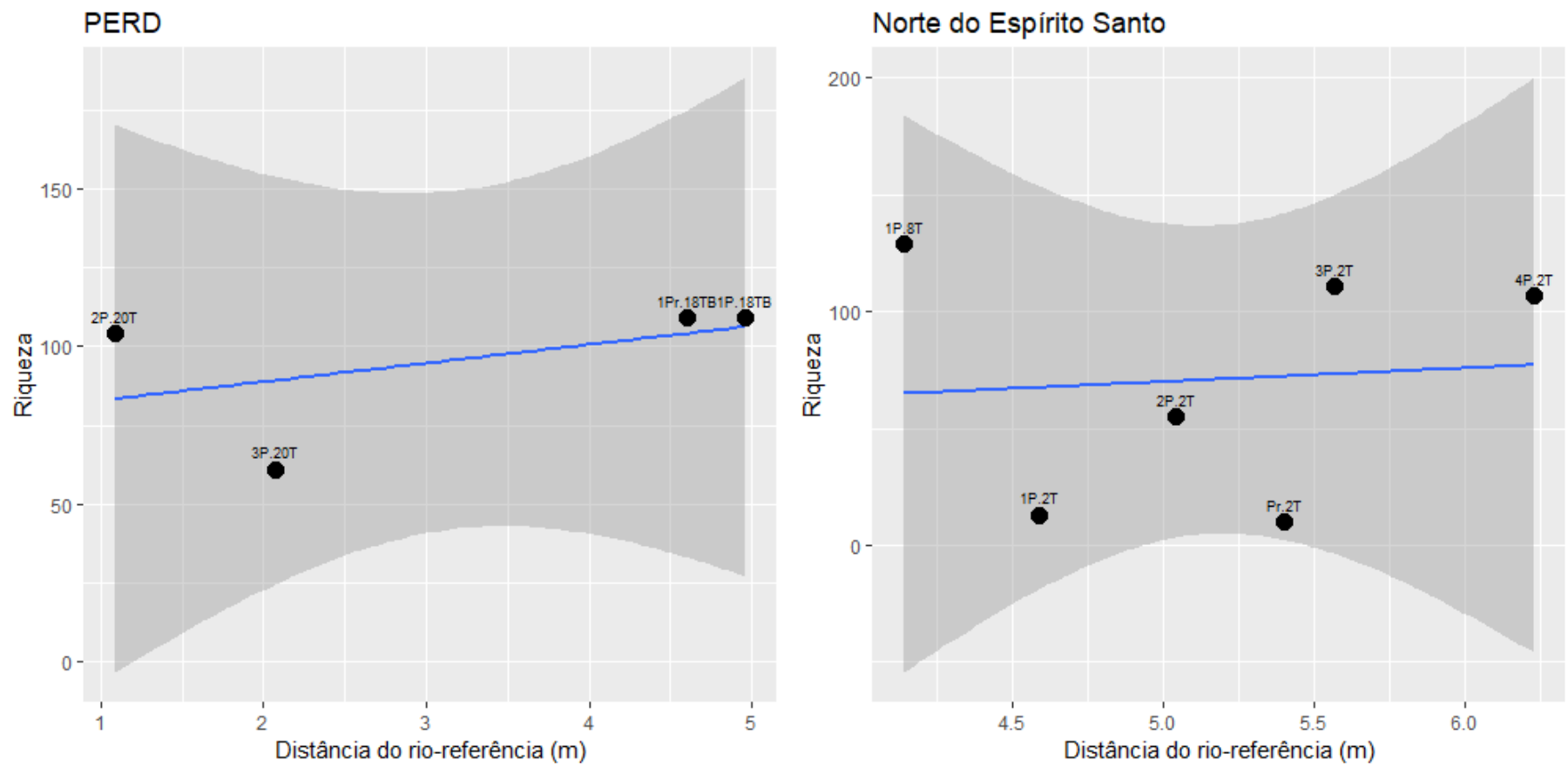


Figura 9. Regressão da riqueza em função da distância para as parcelas amostradas na identificação botânica, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

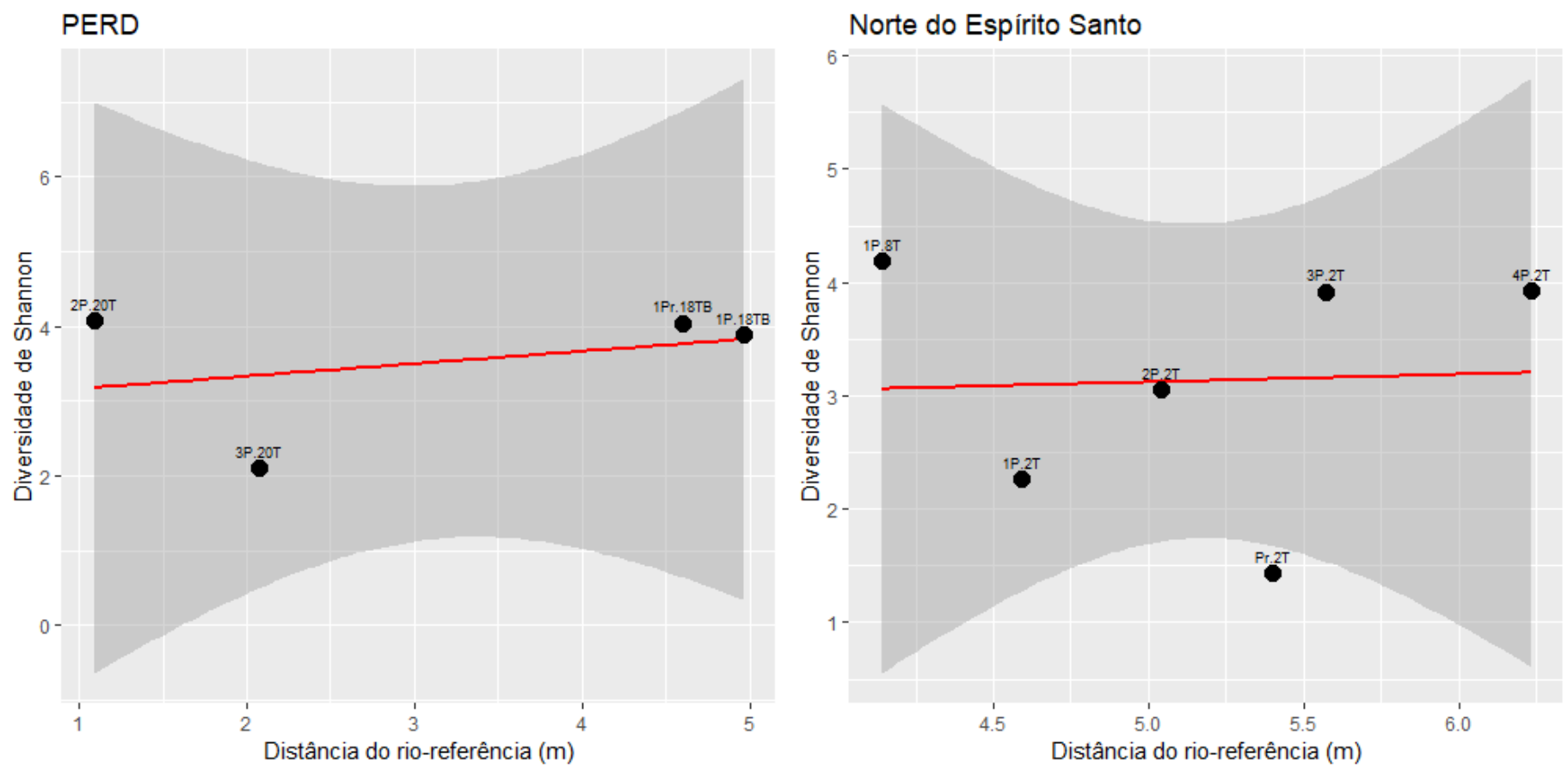


Figura 10. Regressão da diversidade em função da distância para as parcelas amostradas na identificação botânica, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

1.6. Conclusões e recomendações

Os dados secundários e as espécies identificadas neste estudo indicam que o rio Doce apresenta diversidade vegetal caracterizada por famílias que estão entre as mais diversas para a Mata Atlântica, tais como Fabaceae, Myrtaceae e Rubiaceae. Famílias cujas espécies não apresentam lenho, tais como Bromeliaceae e Orchidaceae e que não foram amostradas na coleta de dados e ainda sim foram amplamente presentes nos dados secundários, também estão entre as mais abundantes para o domínio da Mata Atlântica.

Nenhuma espécie Criticamente Ameaçada e Quase Ameaçada levantada nos dados secundários foi encontrada entre as espécies identificadas. No entanto oito espécies Em Perigo e 5 espécies Vulneráveis foram coletadas e identificadas no PERD e no Norte do Espírito Santo, evidenciando a importância das áreas de preservação para numerosas espécies vegetais.

Os resultados levantados não indicam diretamente que as diferenças observadas na densidade e área basal sejam decorrentes de impactos advindos do rompimento da barragem de Fundão em Mariana (MG), pois podem ser derivadas de variáveis não analisadas nesta etapa do projeto, tais como o tipo de fitofisionomia e o estágio sucessional das áreas. Fitofisionomias observadas na prática em campo aparentam explicar melhor as diferenças observadas entre as parcelas para os parâmetros área basal e densidade de indivíduos por hectare.

Embora tenha sido detectado alterações nas concentrações da maioria dos metais pesados em solos onde foi realizado o levantamento de flora, também não é possível correlacionar este dado com as variações na densidade e área basal observadas nas parcelas analisadas, visto que não foram realizadas análises da concentração destes metais nos tecidos dos vegetais. Recomenda-se que sejam analisadas a presença dos metais que apresentaram aumento na concentração de referência nos vegetais em experimentos específicos, que desconsiderem partes vegetais que antecedem a ocasião do rompimento da barragem, tais como lenho de caules e raízes secundárias. Raízes de plântulas que germinaram mais recentemente são mais indicadas para análise de metais visto a baixa mobilidade dos metais ao longo do corpo vegetal.

O estudo da análise de paisagem da bacia do rio Doce (**Volume I, Capítulo 9**) revela intenso histórico de degradação das áreas naturais, com aumento do número de fragmentos de áreas de uso agropecuário e tendência de perda de fragmentos de

floresta, de modo que atualmente já há mais áreas usadas para agricultura do que áreas de florestas nativas na bacia do rio Doce. O BA1 apresentou maior levantamento secundário de espécies vegetais entre todos os BA analisados, congruente com os dados de análise de paisagem que indicam tendência de aumento de número de fragmentos florestais nestas áreas.

Por outro lado, segundo os mesmos dados, há uma tendência de redução dos fragmentos florestais nos BA3 e BA4. Estes dados reforçam a importância de se considerar o tipo de fitofisionomia e estágio sucessional dos fragmentos analisados, visto que muitas parcelas podem estar altamente degradadas pelo aumento das áreas de agropecuária e redução das áreas de floresta na **BHRD**, interferindo diretamente nos resultados de densidade e área basal analisados nesta etapa do monitoramento.

Outro ponto a ser observado é o provável fato de que o impacto causado pelo rompimento da barragem, ao menos para o grupo temático Flora, deveria ser mais significativo nos locais mais próximos do ponto de contaminação pelo rompimento, no caso dos dados apresentados, o BA4, e serem decrescentes a jusante, até o litoral, hipótese também levantada nos estudos da “Avaliação de Impacto sobre as Espécies Terrestres Ameaçadas de Extinção” (GOLDER ASSOCIATES, 2016) e não corroborada pelas observações em campo.

Ressaltamos, portanto, a importância da coleta integral dos dados e a elucidação da real natureza das fitofisionomias das parcelas em campo, a fim de fazer uma distinção fidedigna entre elas, pois isto vai indicar quais parcelas têm suas características naturalmente diferentes entre si, mascarando qualquer inferência que seja feita *a posteriori*. Também é oportuno comentar que a estrutura florestal apresentada para os ecossistemas estudados é apenas uma delinação da situação atual destes ambientes, que servirá de ponto de partida para maiores comparações na evolução dos parâmetros fitossociológicos e ecológicos ao longo do tempo de duração da pesquisa.

Neste sentido, cabe por fim frisar, que, parte dos módulos e parcelas amostrais encontra-se em propriedades privadas, fora de Unidades de Conservação, o que pode ocasionar impactos imprevistos sobre as áreas amostrais, que distorçam e causem interferências nos resultados, mascarando, assim, possíveis preceitos a serem observados e que tenham relação direta com o rompimento da barragem de Fundão em Mariana (MG), objeto do presente estudo.

2. PROTOSTOMIA, FILO ANNELIDA, CLASSE CLITELLATA, Subclasse:

Oligochaeta

2.1. Introdução

Provavelmente, as minhocas foram um dos primeiros animais a invadirem o ambiente terrestre (LEE, 1987). Vivem há milhões de anos na terra, e são conhecidos grandes benefícios destes animais ao meio ambiente e ao homem (BARETTA et al., 2011). As minhocas têm a capacidade de atuar em muitos processos benéficos ao solo, como o melhoramento de sua qualidade física e química. Abrem galerias, transportam material orgânico em profundidade, alterando a velocidade de ciclagem de nutrientes (BARETTA et al., 2011; BOTTINELLI et al., 2015), além de aumentarem as interações bióticas no solo (AIRA; DOMÍNGUEZ, 2011). Por estes motivos, fazem parte do grupo dos engenheiros do ecossistema (JONES; LAWTON; SHACHAK, 1994; LAVELLE et al., 2006).

Devido à importância e sensibilidade destes invertebrados edáficos às alterações ambientais, as minhocas têm sido utilizadas como bioindicadoras em programas europeus que avaliam e monitoram a qualidade do solo (FRÜND; GRAEFE; TISCHER, 2011; RUTGERS et al., 2016; SHEPHERD et al., 2008). No Brasil, os estudos de investigações sobre populações e espécies de minhocas vêm crescendo, evidência que estes invertebrados atraem a atenção de pesquisadores por todo o país (BARETTA et al., 2003, 2007; BARROS et al., 2002; BARTZ et al., 2014; BROWN et al., 2003; BROWN; FRAGOSO; OLIVEIRA, 2003; NADOLNY, 2017; RÖMBKE; SCHMIDT; HÖFER, 2009; SANTOS et al., 2008; TANCK; SANTOS; DIONÍSIO, 2000).

Pouco mais de 300 espécies de minhocas são conhecidas no Brasil (BROWN; JAMES, 2007) e para que o uso delas como indicadores da qualidade ambiental seja compreendido, é necessário conhecer as interações que existem entre as suas populações e as diversas condições de solo, clima, bioma, uso e manejo do solo, além dos atributos físicos e químicos dos solos Brasileiros (BROWN; JAMES, 2007; BARETTA et al., 2011; BARTZ et al., 2014). O conhecimento destas interações se faz necessário, pois qualquer alteração do ambiente através de ações humanas afeta diretamente as populações de minhocas e, conseqüentemente, as funções desempenhadas por estes animais no solo. Contudo, as principais causas das variações das populações de minhocas poderão esclarecer o real valor das minhocas como bioindicadores da fertilidade e qualidade do solo, de acordo com as diferentes condições ambientais prevalentes no país (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010).

O objetivo deste estudo foi avaliar por meio de coletas sistemáticas na Bacia do Rio Doce, desde Minas Gerais até a sua foz no Espírito Santo, para verificar se houve alterações na abundância e na diversidade de Oligochaeta depois do rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG. Além disso, conhecer as populações de minhocas principalmente no estado do Espírito Santo, que possui poucos estudos sobre a diversidade de minhocas (NADOLNY, 2017). Esse material fará parte de um banco de dados para o acompanhamento e verificação das populações de minhocas diante da poluição do solo causada pelo rompimento da barragem.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar o levantamento por meio de coletas quantitativas das espécies de Oligochaeta na Bacia do rio Doce;
- Criar um banco de dados com as espécies coletadas nas áreas de estudo;
- Identificação em nível de espécie dos animais coletados na Bacia do rio Doce, desde Minas Gerais até o Espírito Santo;
- Avaliar a riqueza e abundância das espécies de minhocas em relação à distância da calha do rio Doce;
- Descrever espécies nativas e exóticas que ocorrem na Bacia do rio Doce.

2.3. Material e métodos

2.3.1.1. Área de estudo

Os estudos foram conduzidos à jusante do local do rompimento da barragem de Fundão, desde Mariana, MG até a foz do Rio Doce em Linhares, ES, compreendendo diversos ecossistemas e diferentes usos do solo (**Volume I, Mapa 1**). O relevo é bastante acentuado nos BA2, BA3 e BA4 e plano na região costeira, BA1. Foram comumente observados usos do solo com considerável impacto, como pastagens e áreas agrícolas, e outros menos degradantes como o plantio de cacau no sistema Cabruca. Esse sistema, apesar de sofrer com o uso antrópico, preserva grande parte da vegetação natural, o que ajuda o desenvolvimento das comunidades de Oligochaeta devido à grande produção de material orgânico (MOÇO et al., 2010).

Em todos os BA ocorreram locais de grande colonização de minhocas, como na Flona de Goytacazes em Linhares-ES, no BA1, e no PERD (Parque Estadual do Rio Doce) em MG, no BA3. Contudo, em algumas parcelas o solo era raso, sobre lajes rochosas,

o que forçou o deslocamento pontual de alguns locais de coleta (15TB1pr). Nos módulos instalados sobre a fitofisionomia de restinga (1T e 2T), os solos arenosos, o calor e o prolongado período de estiagem durante as coletas provocaram muitos “zeros” às amostras, isto é, nenhuma minhoca foi coletada.

2.3.1.2. Período de estudo

Este é o primeiro estudo de Oligochaetas realizado na Bacia do Rio Doce após o rompimento da Barragem de Fundão. A campanha foi realizada durante a estação de chuvas de 2019 (**Quadro 12**), embora os dias de amostragem tenham ocorrido em período atipicamente seco, com chuvas de baixa intensidade em apenas 3 dias da campanha, e registrada apenas no BA1.

Quadro 12. Períodos de campo e equipes do estudo de Oligochaeta durante a campanha de chuvas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Equipes	Biólogos	Período	Dias amostrados
1	Herlon Naldony	01/19 a 3/19	47
2	Suzana Escarpinati	01/19 a 3/19	51
3	Marcos Mendes	01/19 a 3/19	57

2.3.1.3. Amostragem de dados primários

As coletas de solo para a avaliação das populações de minhocas na **BHRD** foram feitas obedecendo a metodologia TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*; ANDERSON; INGRAM, 1993), que é o mais indicado para amostragem de Oligoquetos terrestres (BARETTA et al., 2007; ISO, 2017; NADOLNY, 2017). O método consiste na escavação de monolitos de solo de 25 cm de lado e 20 cm de profundidade. Este tamanho pode ser alterado dependendo das espécies encontradas. O solo retirado foi depositado em uma bandeja plástica (40 x 60 cm) para triagem no campo e retirada das minhocas que eram fixadas em álcool 90% em tubos Falcon de 50 ml (**Figura 11**). Posteriormente, o álcool era trocado na chegada ao hotel e após a campanha, já na sede da **Bicho do Mato Meio Ambiente Ltda.**, novamente foi trocado o álcool para uma melhor conservação dos animais.



Figura 11. Sequência de escavação (A, B, C) de monolito de solo pelo método TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*), triagem do solo (D) e armazenamento dos animais coletados (E) durante a campanha na estação chuvosa do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Esse procedimento de troca do álcool das amostras se faz necessário porque a água que existe no corpo dos animais dilui o álcool, o que pode permitir a proliferação de microrganismos que decompõe as amostras, levando a má conservação e eventual perda do material testemunho. Um total de 1080 pontos de coletas foram planejados para serem avaliados, contudo, devido a problemas técnicos de não liberação pelo proprietário e entre outros, aproximadamente 150 deles não puderam ser amostrados (**Volume I, Item 5.2**). Os locais de coletas foram descritos em anotações feitas nas cadernetas de campo contendo informações como tipo de vegetação, descrição elementar do solo (arenoso, argiloso), clima do momento (seco, úmido) e outras informações que podem ser usadas mais tarde, no momento da leitura das análises

estatísticas. Esse tipo de avaliação *in loco* enriquece a descrição dos resultados e pode ser de vital importância para discussão dos resultados atingidos.

2.3.1.1. Procedimentos de laboratório

Todos os indivíduos coletados em campo foram enviados pela empresa **Bicho do Mato Meio Ambiente Ltda.** para profissional lotado na Universidade Federal do Paraná para realização de triagem e identificação. Esse procedimento consiste na contagem e separação dos indivíduos entre adultos e juvenis, pesagem dos animais para aferição da biomassa em cada local (parcela/piquete). Isto permite o cálculo da abundância de indivíduos, riqueza de espécies e biomassa por m² em cada parcela amostrada.

A identificação das espécies foi feita com a observação de caracteres externos das minhocas: poros ou marcas genitais, posição do clitelo (quando adulta), presença de poros dorsais, posição das cerdas pelo corpo, descrição de detalhes não comuns a cada indivíduo (**Figura 12**). Esses detalhes, podem ser a forma como o animal morreu e como seu corpo se encontra dentro do frasco de armazenamento. Pode ocorrer durante esse procedimento a separação em diferentes frascos de animais do mesmo TSBF escavado. Isto leva ao aumento do total de frascos, que nesse caso chegou a 5 diferentes amostras de um mesmo buraco. Ou seja, em um único TSBF, foram observadas 5 espécies diferentes, o que demonstra alta diversidade nesses locais (**Figura 12**), mesmo com chuva de baixa intensidade em apenas três dias durante a campanha. A este respeito, a umidade do solo pode interferir nos resultados da abundância e diversidade de minhocas (BARTZ et al., 2014), sendo recomendado pelo menos duas épocas de coleta para conclusões mais holísticas dos resultados obtidos.

Como todo esse processo é realizado retirando-se os animais dos frascos, ocorre novamente a troca do líquido conservante (álcool 96%), o material permanece bem armazenado em álcool novo e dentro de refrigerador que inibe sua evaporação. Indivíduos jovens e adultos da mesma espécie são armazenados no mesmo frasco. O processo é feito em lupa estereoscópica (**Figura 12A**) tomando-se sempre o cuidado para o não secamento do material que é mantido com água esterilizada dentro das placas de petri durante o processo de identificação. Todos os novos frascos do mesmo local recebem a mesma identificação e são armazenados em refrigerador.

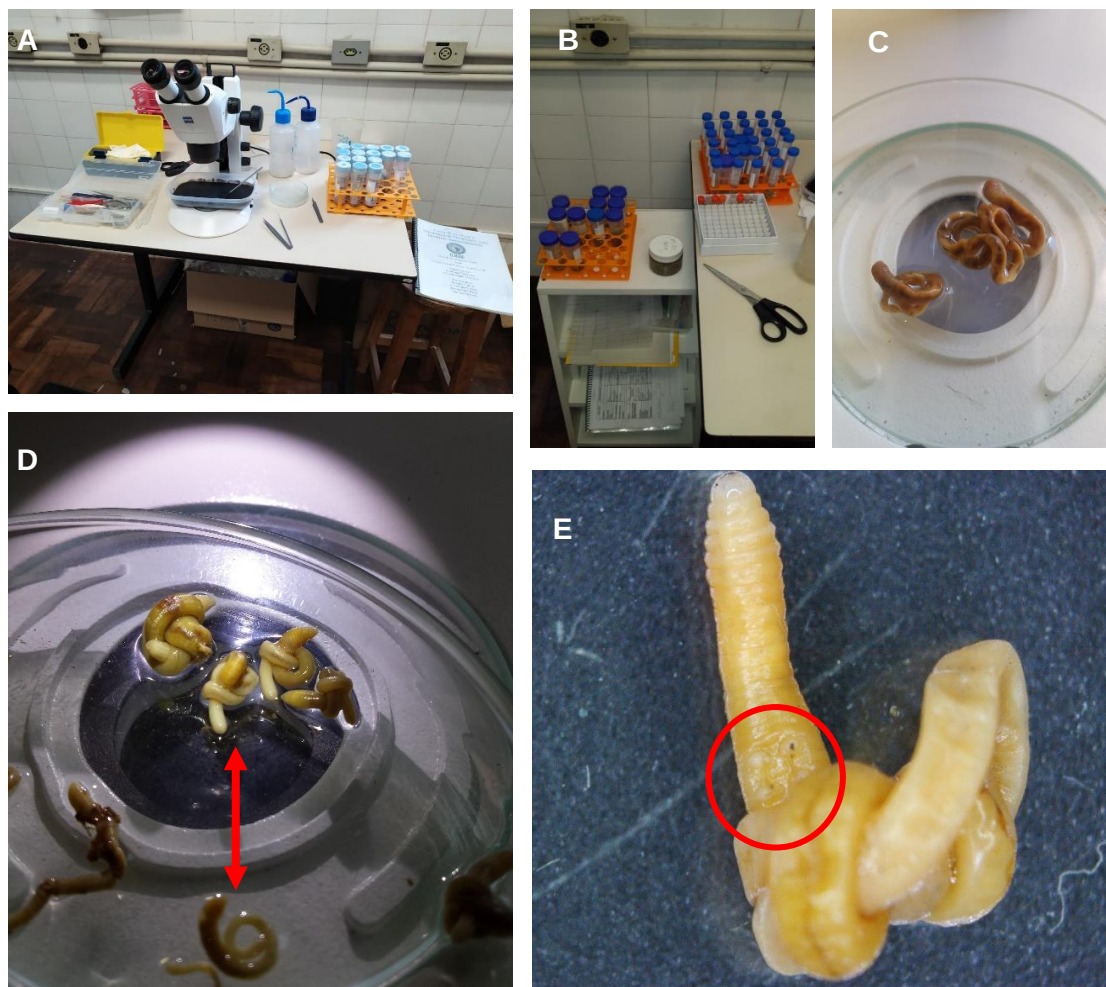


Figura 12. Triagem e identificação (A, B, C) das espécies de minhocas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Caracteres morfológicos observados durante a identificação: forma de morte (D, seta vermelha), posição das marcas genitais (E, círculo vermelho) e divisão de espécies em diferentes tubos Falcon (B).

2.3.1.2. Tombamento do material testemunho

Todas as minhocas coletadas na **BHRD**, serão depositadas na Coleção de Oligoquetas Fritz Müller, da Embrapa Florestas, Colombo-PR, região metropolitana de Curitiba, cadastrada no CGEN como fiel depositária do Patrimônio Genético Nacional. Esta coleção, é mantida dentro desta unidade da Embrapa, sendo administrada pelo pesquisador em ecologia de solos, Dr. George G. Brown, que estuda esse grupo da fauna edáfica há mais de 20 anos.

Dentro desta coleção, aquelas minhocas que não foram identificadas na primeira análise, no momento da triagem, serão novamente submetidas a análise de taxonomistas, e identificadas até o nível de espécie. Esse estudo pode levar certo tempo, devido à complexidade na identificação de todas as espécies, que pode chegar a 81 indivíduos em apenas um buraco escavado e em outros casos 5 espécies diferentes em um mesmo TSBF. No Brasil temos apenas uma taxonomista de minhocas, o que dificulta a identificação rápida a nível de espécie de todos os exemplares.

2.3.1.3. Análise de dados

2.3.1.3.1. Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Para o levantamento de informações sobre espécies de minhocas encontradas nos dois estados e no entorno da **BHRD**, consultamos o mais recente levantamento de estudos de coletas de minhocas em todo o Brasil (NADOLNY, 2017). Nesta revisão de literatura, foram incluídas bases online como: [Web of Science](#), [Scielo](#), [Plataforma Lattes-CNPq](#), [Base de dados de Teses e Dissertações no Brasil](#) (BDTD), [Google Acadêmico](#) e [Repositório Alice-Embrapa](#), com a utilização de palavras chaves como “*earthworms ecology*”, “*soil biology*” e “*soil zoology*”.

Identificamos apenas um estudo no ES, o que dificulta a descrição de espécies de minhocas no estado, bem como a descrição de espécies ameaçadas. Já se sabe que *Pontoscolex corethrurus*, a mais conhecida e dispersa espécie do país foi encontrada em grande quantidade, além de *Amyntas* spp., outra espécie exótica e que será identificada até o nível de espécie (BROWN; JAMES, 2007; JAMES; GEORGE G. BROWN, 2008).

2.3.1.3.2. Status de conservação

Para o grupo dos Oligochaeta, existem poucos relatos sobre o estado de conservação das espécies e para a **BHRD**, nenhum documento foi gerado até hoje. O que existe para o estado de Minas Gerais é a retirada da lista de extintas uma minhoca que há anos não era encontrada no seu local de endemismo (BROWN; JAMES; MARINI-FILHO, 2012). Contudo, em MG ocorrem diversas espécies de minhocuçus e isso acarreta a caça predatória para uso como isca de pesca (SILVA, 2016). No ES, o conhecimento das espécies de minhocas é relativamente pequeno e este é o maior estudo de inventário e identificação de espécies no Estado. Portanto, esse estudo vem contribuir de duas

formas no estudo das populações de minhocas no Brasil e também aumentar o número de amostras no estado.

2.3.1.3.1. Sucesso amostral

Para cada escavação, foi aplicado a seguinte equação:

$$\text{Sucesso amostral} = n^{\circ} \text{ de indivíduos} * 16$$

Cada TSBF de 25 x 25 cm escavado corresponde a 1/16 avos de 1 m², e assim poder-se calcular a densidade e a biomassa de minhocas em cada piquete, parcela ou módulo, previamente instalados.

2.3.1.3.2. Distribuição geográfica

Usamos literatura especializada para determinação da distribuição geográfica das espécies amostradas (BROWN; JAMES, 2007; NADOLNY, 2017), onde diversos atributos e espécies mais comuns poderão ser analisadas e depois verificar as interações bióticas em cada local/estado.

2.3.1.3.3. Análises padronizadas

Foram realizados testes de Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), para obtenção dos valores estatísticos em função da distância do rio Doce sobre os valores de riqueza e abundância de indivíduos e composição de espécies de minhocas e variáveis do uso do solo em todos os Blocos Amostrais. Essas análises estatísticas indicarão se as eventuais relações são positivas ou negativas e seu potencial de relação com o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG. Todos os testes foram realizados utilizando o Programa R (R CORE TEAM, 2018).

2.4. Resultados

2.4.1. Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Em busca realizada no *SpeciesLink* acerca de espécimes de Classe Clitellata depositados nas coleções disponíveis no repositório, apenas um registro da espécie *Fridericia fridericia conjugata* é encontrado no estado do Espírito Santo, Parque Estadual Paulo César Vinha, município de Guarapari. Essa espécie pertence a outro grupo de Oligochaetas, os Enchitraeídeos, que são menores e comuns em solos de florestas. Não foram encontrados registros de espécimes da Classe Clitellata para o estado de Minas Gerais. Portanto, estamos trabalhando realmente com informações inéditas para o estado de Minas Gerais em termos de diversidade de minhocas edáficas.

2.4.2. Diagnóstico da Área de Estudo

Durante está primeira campanha de coletas foi observado um período atípico de estiagem, com chuva de baixa intensidade em apenas 3 dias durante todo a campanha no BA1, o que prejudicou as coletas. Nos outros BA, as chuvas foram um pouco mais intensas. Amostramos 100 parcelas em 19 módulos foram amostrados, gerando informações de populações de minhocas em ca. 800 pontos na **BHrD** desde Mariana, MG até Regência, distrito de Linhares, ES. Ao menos 70% das áreas eram de Vegetação Nativa, na maioria com evidências de exploração humana.

Registramos pelo menos 7 espécies de minhocas e algumas delas podem ser novas espécies para a ciência (**APÊNDICE 16**), embora isto ainda demande tempo e descrição formal de taxonomista. A espécie mais abundante em toda a bacia foi *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857), uma espécie peregrina nativa / invasora da região norte do Brasil (**Quadro 13**), divisa com a Venezuela e Guiana que pertence à Família Glossoscolecidae (TAHERI et al., 2018). Tem hábito endogêico, e foi amplamente distribuída pelo país e em muitos continentes (BROWN et al., 2006; JEFFREY et al., 2010; TAHERI et al., 2018). Entre indivíduos adultos e juvenis, um total de 15 e 66%, respectivamente, dessa espécie foram identificados. Esses números devem mudar, pois parte dos indivíduos coletados são danificados por causa do método, e uma segunda rodada de identificação de espécimes adicionará registros a amostra através da identificação de partes duvidosas.

Outra espécie encontrada na região foi uma espécie exótica, *Amyntas* spp., (*A. gracilis* ou *A. corticis*), pertencentes a família Megascolecidae, nativas de países asiáticos e que foram introduzidas no Brasil (BARETTA et al., 2007). Prosseguiremos com a dissecação dos indivíduos de *Amyntas* spp. para a separação dos indivíduos das duas espécies. Os adultos desta espécie encontrados correspondem a 2% do total dessa família e os juvenis somam 1,7% do total de minhocas encontradas (**Quadro 13**).

Quadro 13. Levantamento de dados secundários de espécies de Oligochaeta terrestres nos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, como parte do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Espécies	¹ Abundância Total
<i>Pontoscolex corethrurus</i> *	3998
<i>Amyntas</i> spp.**	189
Outras sp.***	684

¹Abundância Total: juvenis e adultas encontradas em todos os Blocos Amostrais, módulos e parcelas amostradas. * *Pontoscolex corethrurus* é a espécie mais abundante. ** *Amyntas* spp., pode ser separada entre duas espécies (*Amyntas gracilis* e *Amyntas corticis*). *** Outras, estão até o momento divididas entre 4 diferentes espécies que necessitam verificação de taxonomista experiente.

Para que a triagem e pesagem do material encaminhado ocorresse de forma mais rápida, as minhocas que não foram identificadas em um primeiro momento através de caracteres externos, serão submetidas a procedimentos de dissecação. Estas somam 15% do total de indivíduos coletados (adultas e juvenis) e podem estar distribuídos entre as famílias Acanthodrilidae, Ocnerodrilidae e outras Glossoscolecidae, que são as minhocas da família mais abundante no Brasil (BROWN; JAMES, 2007). Ainda que as amostras estejam prontas para a segunda etapa de identificação, um grande número de animais coletados é imaturo, o que dificulta e até impossibilita sua identificação, especialmente no caso de animais danificados durante as coletas.

Alguns sítios de amostragem devem ser revisitados, pois são locais onde não registramos *P. corethrurus* (módulos 10T, 12T, 13T, 14T e 20T). Como foi a espécie mais abundante nas amostragens, é uma das mais tolerantes a variações químicas no solo, e sobrevive com alimentos de baixa qualidade nutricional (LAVELLE et al., 1987), a ausência de espécimes nestes locais pode estar relacionada a atributos do solo causados pela poluição regional, incluindo efeitos diretos que o rompimento da barragem de Fundão tenha causado. Esta verificação é relevante para detectarmos: (a) se a espécie realmente não ocorre nesses locais; (b) ou estava em dormência em

camadas mais profundas do solo, dado o período atípico de estiagem no BA1, ou (c) os sítios de amostragem possuem características físico-químicas não toleradas pela espécie (TAHERI et al., 2018).

O comportamento de dormência das minhocas, ocorre devido a condições desfavoráveis, tais como seca ou contaminação do solo. As minhocas formam uma câmara de estivação e permanecem por grandes períodos neste estado, até que as condições adversas sejam revertidas (BARETTA et al., 2011). No BA1, muitos animais foram encontrados neste estado (**Figura 13**), pois como já relatado, apesar de as coletas serem feitas no período chuvoso, havia algum tempo que chuvas prolongadas não ocorriam no local.



Figura 13. Minhocas da espécie *P. corethrurus* em estado de dormência registrada na **BHrD** durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

2.4.2.1. Análises padronizadas

Foram realizados testes de Modelos Lineares Generalizados (GLM; **Tabela 1**) e Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), para se verificar se há relação entre a riqueza, abundância de indivíduos e composição de espécies de minhocas em relação à distância ao leito do rio Doce e variáveis do uso do solo em todos os Blocos Amostrais (BA). Essas análises estatísticas indicarão se as eventuais relações são

positivas ou negativas e seu potencial de relação com o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG.

Para as *Parcelas Terrestres* o GLM mostrou que nos Blocos Amostrais 3 e 4 a riqueza de espécies de minhocas está negativamente relacionada à distância do rio Doce, isto é, quanto maior a distância menor o número de espécies amostrado (*Goodness of fit* – $p = 0,0105$; $PseudoR^2 = 0,5943$; *Overdispersion* = 0,2264; **Tabela 2; Figura 14**). Para as *Parcelas Ripárias* para nenhum dos Blocos Amostrais houve relações significativas (*Goodness of fit*: $p = 0,0710$; $PseudoR^2 = 0,2725$; *Overdispersion* = 0,3580; **Tabela 3; Figura 15**). Por serem animais dependentes de certa umidade e temperatura no solo, é esperado que haja correlação negativa entre a distância do rio e a abundância de espécies e indivíduos de minhocas (LAVELLE et al., 2007; RICHARDSON; SNYDER; HENDRIX, 2009). Portanto, é esperado que em parcelas ripárias as populações de minhocas sejam mais abundantes e mais ricas. Necessário lembrar que a época chuvosa naquele momento estava anormal, não ocorrendo com a frequência necessária para manter a umidade do solo em parcelas distantes do rio.

Tabela 1. GLM para as amostras de *Oligochaeta* coletadas nas *Parcelas Terrestres* (PT) e *Ripárias* (PR) durante a campanha de chuvas, por BA, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho: relação significativa.

	Estimativa	DP	Erro	Graus de liberdade	p
<i>Parcelas Terrestres</i>					
Intercepto	131,0640	0,1355	9,670	38	<0,0001
BA1a*	-0,2082	0,1151	-1,809	38	0,0705
BA1b*	-0,0160	0,0864	-0,185	38	0,8530
BA2*	-0,0631	0,1555	-0,406	38	0,6850
BA3*	-0,2581	0,1257	-2,054	38	0,0400
BA4*	-0,3713	0,1719	-2,160	38	0,0308
<i>Parcelas Ripárias</i>					
Intercepto	0,9753	0,2701	3,611	16	0,0003
BA1b_PR**	458,6870	0,2372	0,193	16	0,8467
BA2_PR**	-321,9860	0,3420	-0,942	16	0,3464
BA3_PR**	-0,0979	0,1404	-0,697	16	0,4858
BA4_PR**	-0,1715	0,1790	-0,958	16	0,3380

*Familia Poisson: *Null deviance*: 25,17, *Residual deviance*: 10,21, AIC: 134,52

** Familia Poisson: *Null deviance*: 7,8472; *Residual deviance*: 5,7087; AIC: 59,453

Tabela 2. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Oligochaeta nas *Parcelas Terrestres* por BA para a campanha de chuvas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Tendências em laranja.

BA	Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p
BA1b	Dist. Município	0,0007	-1,0000	0,1347	0,2990
BA1b	Dist. Barragem	-0,0003	-1,0000	0,1657	0,1550
BA1b	Dist. Rio Doce	0,0000	1,0000	0,0031	0,9920
BA1b	Dist. UC	0,0002	-1,0000	0,0820	0,4740
BA1b	Uso antrópico	0,0001	1,0000	0,1143	0,3480
BA1b	Uso aquático	0,0009	-1,0000	0,1742	0,1920
BA1b	Uso degradado	0,0006	-1,0000	0,2323	0,0920
BA1b	Uso natural	-0,0003	-1,0000	0,1648	0,1500
BA2	Dist. Município	-0,1003	0,9950	1,0000	1,0000
BA2	Dist. Barragem	0,3482	-0,9374	1,0000	1,0000
BA2	Dist. Rio Doce	-0,2535	0,9673	1,0000	1,0000
BA2	Dist. UC	0,3526	-0,9358	1,0000	1,0000
BA2	<i>Uso antrópico</i>	0,3347	-0,9423	1,0000	1,0000
BA2	<i>Uso aquático</i>	0,4071	-0,9134	1,0000	1,0000
BA2	<i>Uso degradado</i>	-0,3521	0,9360	1,0000	1,0000
BA2	<i>Uso natural</i>	0,3707	-0,9288	1,0000	1,0000
BA3	Dist. Município	0,2674	0,9636	0,5507	0,0580
BA3	Dist. Barragem	-0,0542	0,9985	0,1268	0,8040
BA3	Dist. Rio Doce	0,0748	-0,9972	0,1621	0,5800
BA3	Dist. UC	-0,8818	-0,4716	0,0307	0,9630
BA3	<i>Uso antrópico</i>	-0,9182	0,3962	0,1062	0,6560
BA3	<i>Uso aquático</i>	-0,1965	0,9805	0,3257	0,3660
BA3	<i>Uso degradado</i>	-0,1309	0,9914	0,1525	0,5870
BA3	<i>Uso natural</i>	0,6320	-0,7749	0,1065	0,6540
BA4	Dist. Município	-0,7905	-0,6124	0,9998	0,0833
BA4	Dist. Barragem	-0,7443	0,6678	0,9278	0,4167
BA4	Dist. Rio Doce	-0,0838	0,9965	0,3128	0,8333
BA4	Dist. UC	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
BA4	<i>Uso antrópico</i>	-0,7903	0,6128	0,9964	0,1250
BA4	<i>Uso aquático</i>	0,3001	0,9539	0,5603	0,6667
BA4	<i>Uso degradado</i>	0,5285	0,8489	0,4768	0,7500
BA4	<i>Uso natural</i>	0,4521	-0,8920	0,8527	0,2083

Legenda: Dist.= distância, UC = Unidade de Conservação. Município – distância ao centro urbano mais próximo; Barragem - Distância até a barragem de Fundão; Rio Doce – Distância até o leito do rio Doce; UC – Distância até a Unidade de Conservação mais próxima; Uso antrópico – Categoria de uso do solo categorizada como zonas urbanas e similares; Uso aquático – Cobertura de ambientes aquáticos; Uso degradado – Áreas de cobertura e uso do solo de ambientes degradados pela atividade humana; Uso natural – Áreas de cobertura fitofisionômica natural

Tabela 3. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de *Oligochaeta* nas *Parcelas Ripárias* por BA para a campanha de chuvas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em laranja representam tendências. Não houve resultados estatisticamente significativos.

BA	Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p
BA3	Dist. Município	-0,8264	0,5631	0,2886	0,3460
BA3	Dist. Barragem	0,0060	-1,0000	0,0852	0,7730
BA3	Dist. Rio Doce	-0,9023	-0,4311	0,1767	0,6060
BA3	Dist. UC	-0,9999	0,0167	0,0356	0,7790
BA3	<i>Uso antrópico</i>	0,6547	-0,7559	0,1208	0,8230
BA3	<i>Uso aquático</i>	-0,1598	0,9872	0,0513	0,7450
BA3	<i>Uso degradado</i>	0,8530	0,5219	0,2903	0,4010
BA3	<i>Uso natural</i>	-0,8872	0,4615	0,1271	0,7520
BA4	Dist. Município	0,3092	-0,9510	0,3466	0,5194
BA4	Dist. Barragem	0,2325	-0,9726	0,6300	0,1847
BA4	Dist. Rio Doce	0,9318	-0,3630	0,2773	0,5917
BA4	Dist. UC	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
BA4	<i>Uso antrópico</i>	0,2203	-0,9754	0,7831	0,1222
BA4	<i>Uso aquático</i>	-0,8797	-0,4755	0,1129	0,8722
BA4	<i>Uso degradado</i>	0,2799	-0,9600	0,1550	0,7931
BA4	<i>Uso natural</i>	-0,2256	0,9742	0,6298	0,2111

Legenda: Dist.= distância, UC = Unidade de Conservação. Município – distância ao centro urbano mais próximo; Barragem - Distância até a barragem de Fundão; Rio Doce – Distância até o leito do rio Doce; UC – Distância até a Unidade de Conservação mais próxima; *Uso antrópico* – Categoria de uso do solo categorizada como zonas urbanas e similares; *Uso aquático* – Cobertura de ambientes aquáticos; *Uso degradado* – Áreas de cobertura e uso do solo de ambientes degradados pela atividade humana; *Uso natural* – Áreas de cobertura fitofisionômica natural.

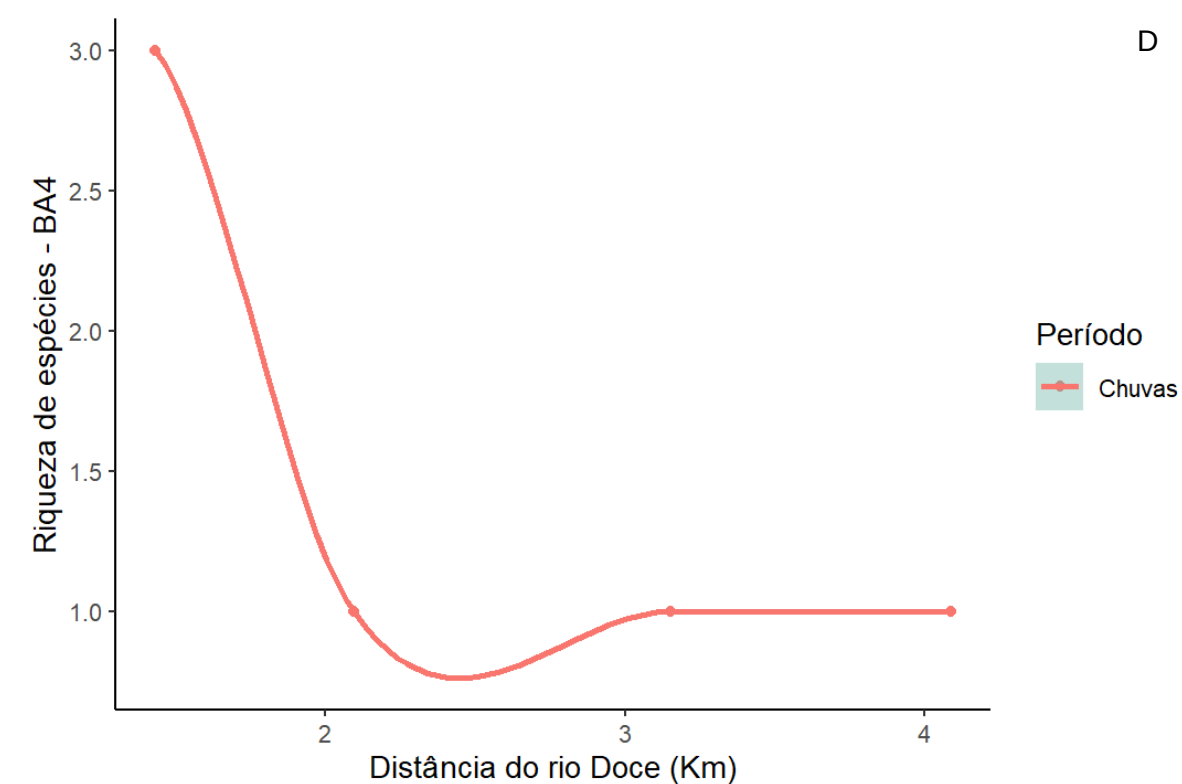
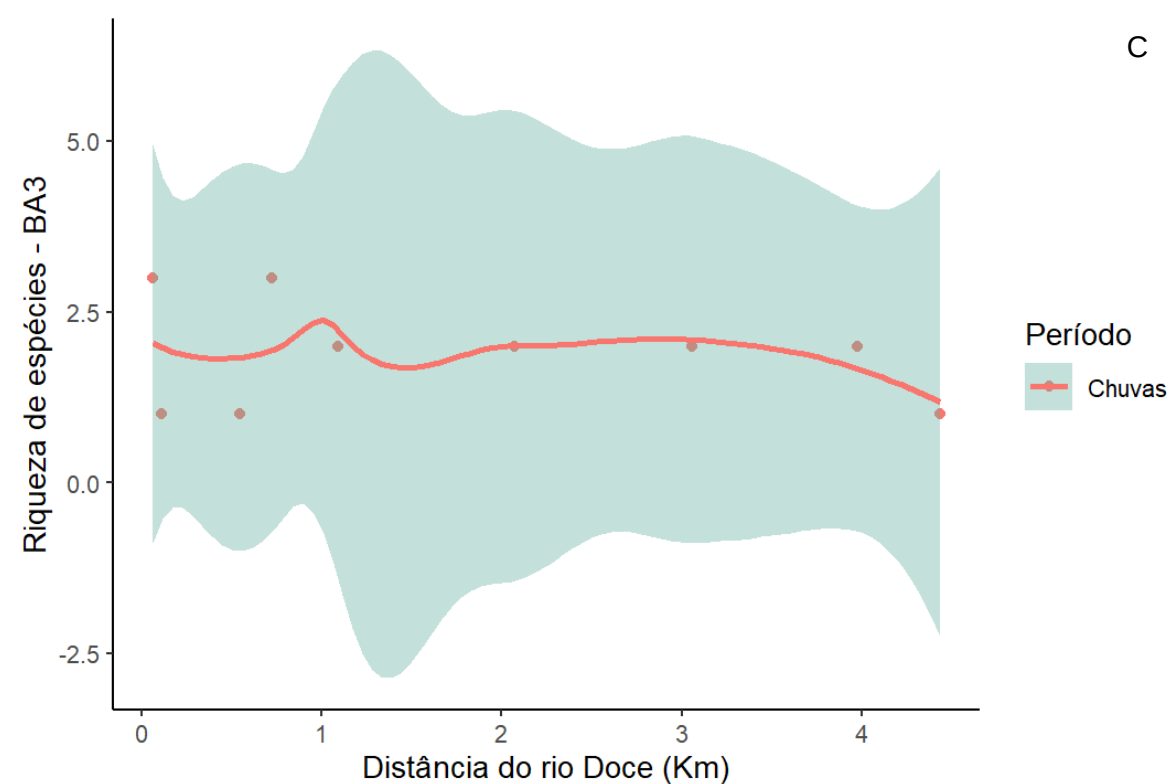
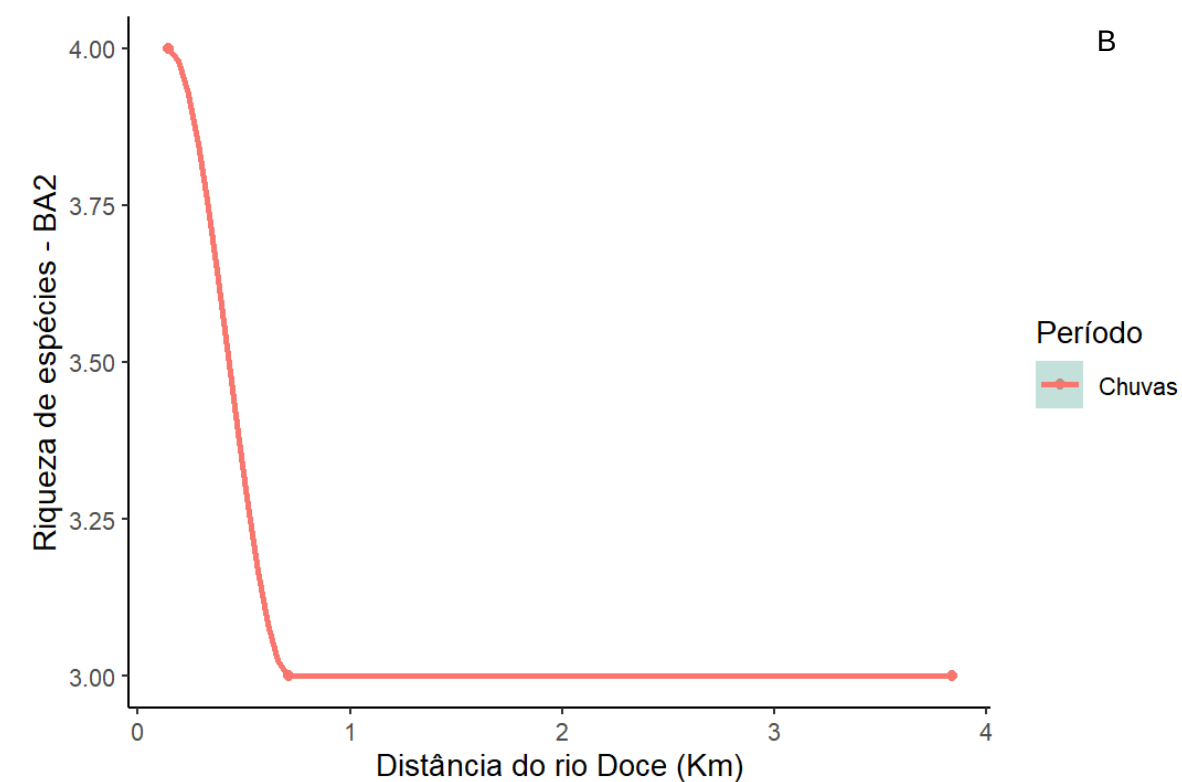
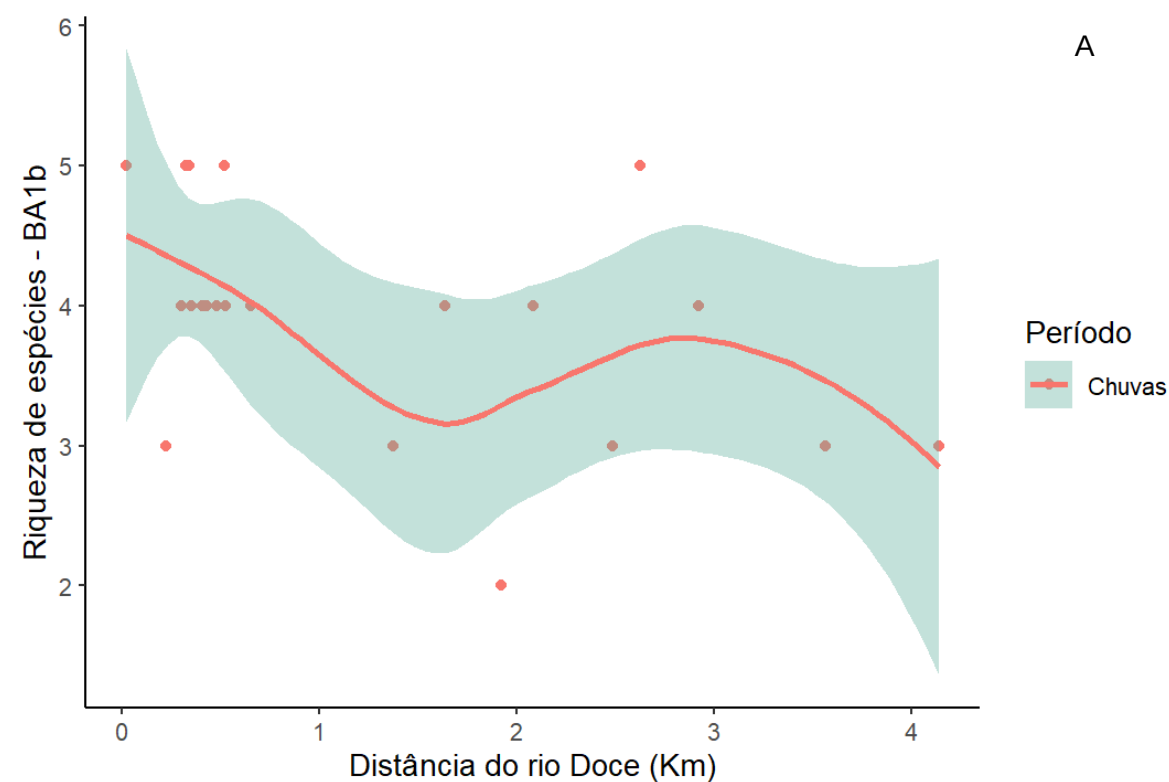


Figura 14. Relação entre a riqueza de espécies de Oligochaeta registradas nas *Parcelas Terrestres*, e a distância do rio Doce para o BA1b (A), BA2 (B), BA3 (C) e BA4 (D) durante a campanha de chuvas em 2019 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

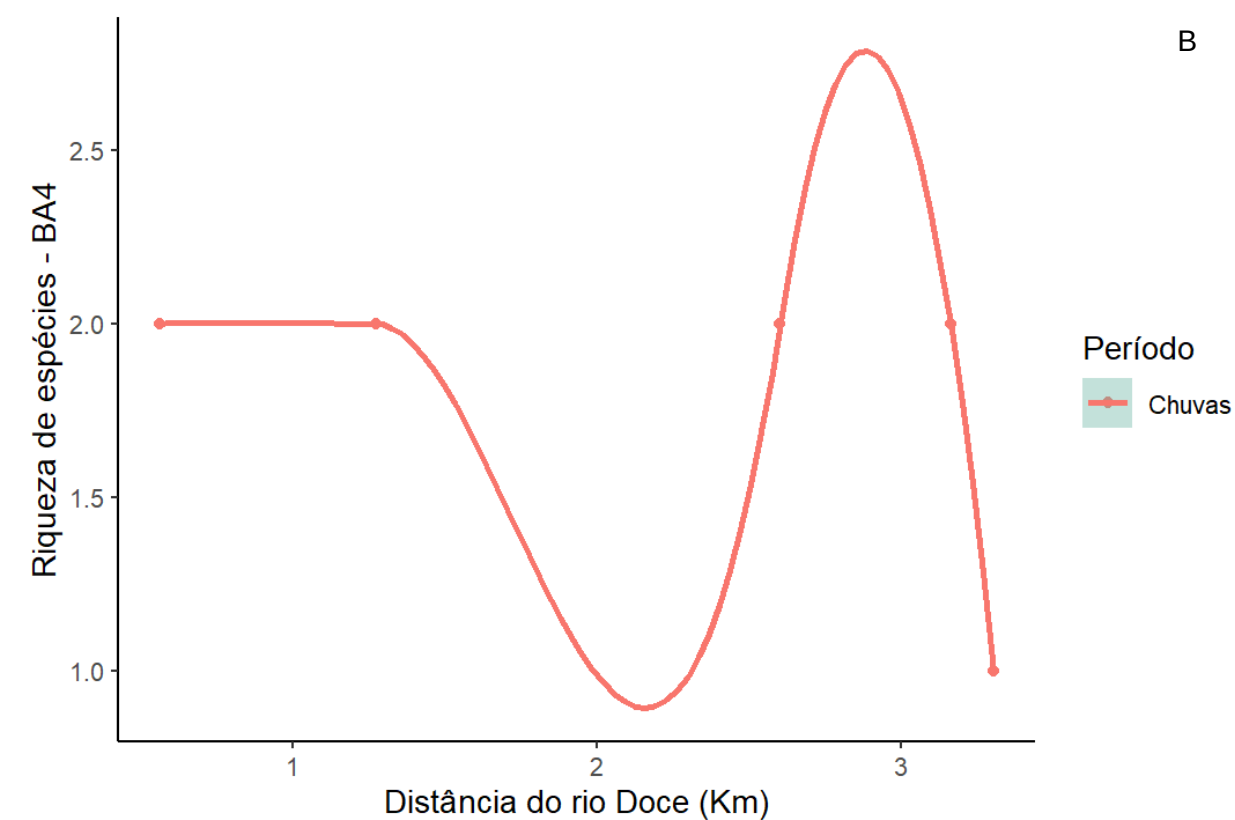
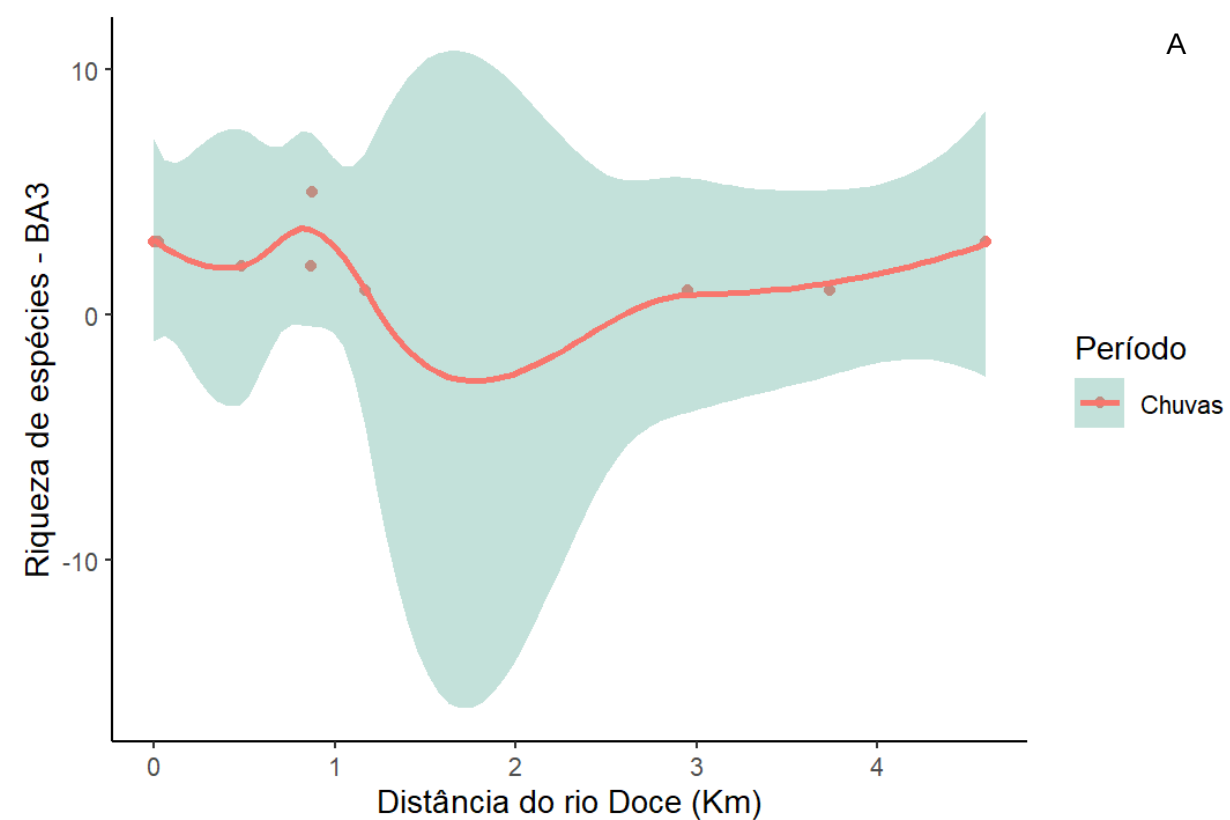


Figura 15. Relação entre a riqueza de espécies de Oligochaeta registradas nas *Parcelas Ripárias* e a distância do rio Doce para o BA3 (A), BA4 (B), durante a campanha de chuvas em 2019 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

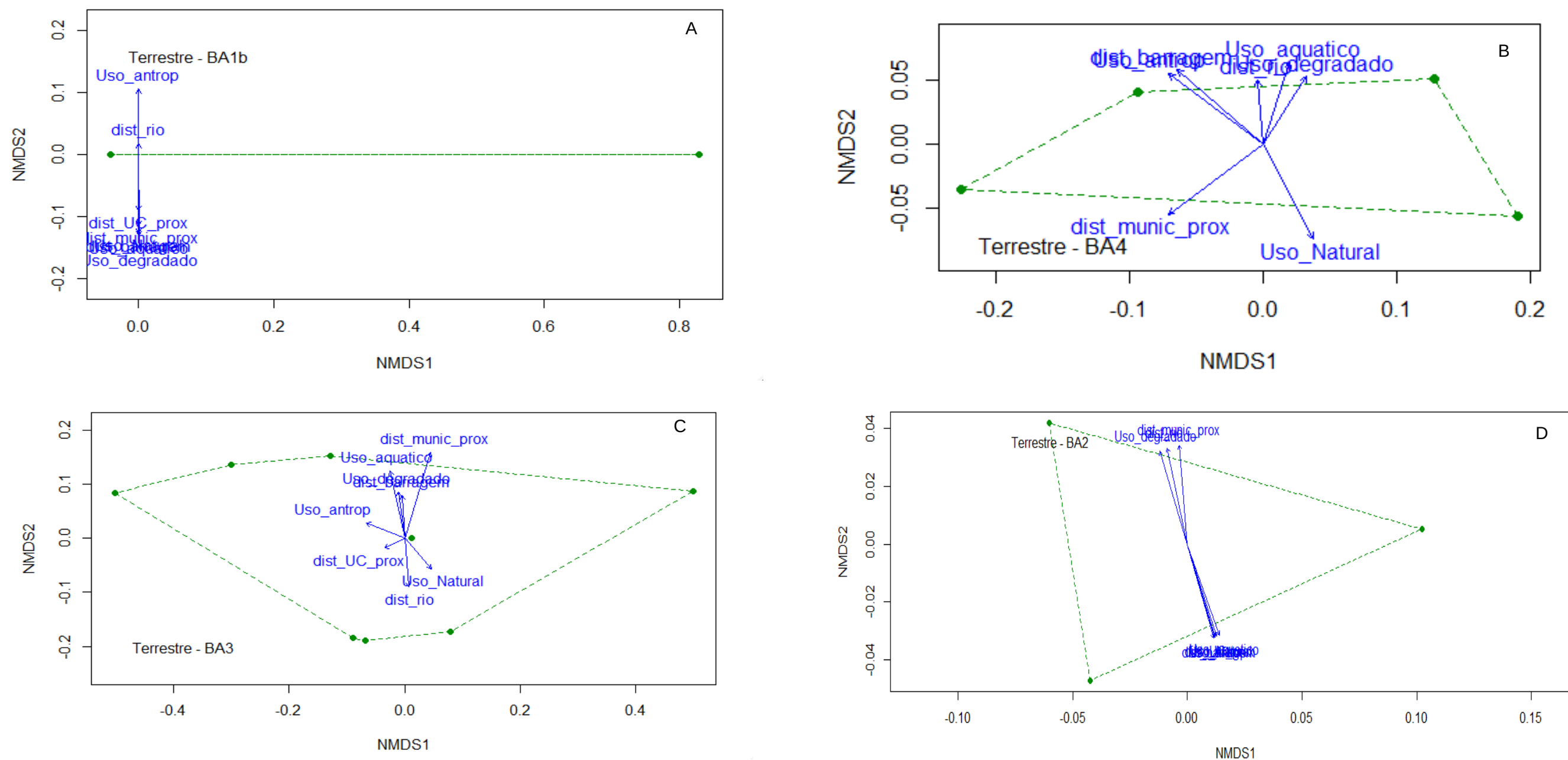


Figura 16. Ordenação por NMDS das comunidades de Oligochaeta nas *Parcelas Terrestres* em função da distância do município mais próximo, barragem de Fundão, rio Doce, Unidade de Conservação mais próxima, *uso antrópico*, ambientes aquáticos, degradação ambiental, e áreas naturais para o BA1b (A), BA2 (B), BA3 (C) e BA4 (D) durante a campanha de chuvas em 2019 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

2.4.2.2. Bloco Amostral 1 – Restinga, Ombrófila densa costeira

Devido ao clima seco e quente, na região do BA1 composto por vegetação de restinga arbustiva, a quantidade de amostras foi reduzida (**Figura 17**), devido aos atributos ambientais mencionados e por ocorrerem solos do tipo Cambissolos e Neossolos de baixa fertilidade e bastante arenosos (**Volume I, Quadro 11**). É uma tendência natural que nesses ambientes as populações de minhocas sejam menos numerosas (BARETTA et al., 2007; BARTZ et al., 2014).



Figura 17. Áreas de coleta (A, B) e procedimentos de extração de solo (C, D, E) e separação de Oligochaeta (F) em ecossistema de Restinga no BA1 em Regência, ES, durante a campanha de chuvas em 2019 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Nas áreas mais interiores, de cobertura de Floresta Ombrófila, os solos do tipo Argissolos (**Volume I, Quadro 11**), observamos extenso uso antrópico, especialmente as plantações de Cacau em sistema Cabruca (**Figura 17E**), que foram as áreas com as maiores populações de minhocas, um tipo de favorecimento de habitat já descrito na literatura (SILVA et al., 2012b). Na análise de NMDS, estes usos do solo ficaram separados dos demais usos, tal como, a proximidade de cidades e uso degradado do solo (**Figura 16A**).

2.4.2.3. Bloco Amostral 2 – FESD

No BA2, o comportamento das populações de minhocas foi parecido com o BA1, e como relatado anteriormente, a maioria dos Blocos Amostrais consistiam em áreas de floresta nativa, com baixa atuação antrópica e solos mais argilosos como Argissolos e Latossolos (**Volume I, Quadro 13**). Apesar de ocorrerem solo mais férteis e argilosos, neste BA foram encontradas 562 minhocas (12%), contudo, a riqueza de espécies nesse BA foi maior, sendo registradas até o momento 5 diferentes espécies, que pode ter relação com os tipos de solos nesse BA, que eram em grande parte mais argilosos. e material orgânico (BARETTA et al., 2007; BROWN; DOMINGUEZ, 2010; NETO et al., 2010; BARTZ et al., 2014) e esse fato pode explicar a separação dos tipos de uso dos solos e as comunidades de minhocas nesses locais (BARTZ et al., 2014). Foi observado neste BA a maior queda das populações de minhocas em relação a distância do rio, segundo o teste realizado com ferramentas de GLM (**Figura 14B**).

2.4.2.4. Bloco Amostral 3 – FESD

No BA3, as correlações mostram claramente que os usos mais conservacionistas do solo e áreas de vegetação nativa, se posicionam opostamente aos usos mais degradantes do solo. No BA3, está situado o PERD. O parque protege grandes áreas e possui solos argilosos (**Figura 18**). No BA3 registramos a segunda maior abundância, 1.268 minhocas (26% da amostra total). Suas populações de minhocas foram mais constantes em relação a distância do rio que, como já mencionado acima, pode ser devido à grande porção de áreas dentro da UC.

As correlações entre populações de minhocas e locais pouco degradados são sempre positivas, devido à grande diversidade de plantas que diversificam os recursos alimentares para todas as espécies de minhocas (BARETTA et al., 2011; BARTZ et al., 2014). Por exemplo, e congruente com nossos resultados, em áreas protegidas nativas de regiões do México, foram descritas 7 espécies de minhocas (HUERTA et al., 2009).

2.4.2.5. Bloco Amostral 4 – FESD

A distribuição da riqueza de espécies de minhocas foi negativamente relacionada a distância do Rio Doce, isto é, à medida que aumentamos a distância das coletas a riqueza de espécies diminuiu (**Figura 14D**). As análises de NMDS não identificaram fatores estruturantes para a composição e abundância de espécies com apenas uma campanha, mas as variáveis ligadas o uso do solo humano (Uso degradado) e a proximidade de centros urbanos aparecem como as variáveis mais prováveis de importância detectável com o aumento do esforço amostral (**Figura 16D**).



Figura 18. Visão geral da vegetação (A - E) e tipos de solos mais argilosos (F) encontrados nos Blocos Amostrais 3 e 4 do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

2.4.3. Metais pesados

No Brasil, a maioria dos estudos sobre metais pesados no solo, envolvem elementos como o mercúrio (Hg), o chumbo (Pb) e o ferro (Fe) (BARROS et al., 2010; BUCH et al., 2017), sendo que em muitos casos tratam de concentrações de metais pesados em substratos que podem ser usados para incorporação aos solos agrícolas, como lodo de esgoto (MAAS et al., 2014). Em um estudo, sobre teores de metais pesados a partir da rocha mãe, MELO et al., (2017) descreve a baixa disponibilidade natural desses metais no solo, o que reforça o estudo de PAYE et al., (2010) realizado no ES que além de não ter detectado altas concentrações nos solos deste estado, relaciona a atividade humana como a maior responsável sobre a descarga desses metais no ambiente. Nele, o autor descreve que não foram detectados valores de Cd excedentes em solos a partir da rocha mãe, mas em locais próximos a atividade humana (agrícola, industrial e urbanização) as concentrações de metais pesados tornam-se elevadas.

As populações de minhocas são controladas por diversos atributos químicos e físicos dos solos, como os metais pesados e o pH (REYNOLDS, JW., JORDAN, 1975; BROWN; DOMINGUEZ, 2010). A espécie mais comum nas áreas amostradas foi *Pontoscolex corethrurus*, que pode suportar solos com pH entre 4,5 e 6,2 (KNAPPER; PORTO, 1979; STEFFEN, 2012), considerada uma grande amplitude, e alta adaptabilidade a ambientes antropizados, como uso do solo para produção agrícola ou pecuária. No entanto, não temos dados específicos sobre esta espécie no que diz respeito aos efeitos dos metais pesados sobre sua biologia. Está espécie, juntamente com *Amyntas* spp. (exótica), também coletadas em muitos locais, é bastante usada como indicadora de usos antrópicos do solo (LAPIED; LAVELLE, 2003; SAUTTER et al., 2006). Como são espécies diferentes, possivelmente possuirão diferentes respostas diante da contaminação dos solos (BUCH et al., 2013), desde a diminuição de nascimentos, até o desaparecimento de espécies nativas a longo prazo devido à perda de habitat ou diminuição na produção primária, que pode ser causada pela contaminação do solo e que são alimento para esses organismos.

Analisamos 105 amostras de 6 espécies de minhocas pertencentes a 3 dos 4 Blocos Amostrais do estudo (**Quadro 14**). Os indivíduos não foram identificados anteriormente a análise porque ambos os processos envolvem etapas destrutivas ou degradantes para as amostras, o que inviabilizaria a análise de metais pesados. Dos 9 metais pesados analisados há testes fisiológicos e valores de referência, usualmente LC50 para 7 deles;

para ferro e manganês não encontramos referências conhecidas nem mesmo em revisão recente sobre o assunto (SIVAKUMAR, 2015).

Quadro 14. Amostras de Oligochaeta coletados e analisados quanto a concentração de metais pesados analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Módulo / Bloco Amostral	BA1b	BA2	BA3	Σ
05T	1	-	-	1
06T	1	-	-	1
07T	2	-	-	2
08T	1	-	-	1
09I	-	-	7	7
10T	22	-	-	22
11T	12	-	-	12
12T	14	-	-	14
14T	-	28	-	28
15TB	-	12	-	12
PS	-	-	5	5
Total	53	40	12	105

Os resultados das análises de metais pesados nos Oligochaeta (**Quadro 15, Quadro 16**) trazem fatos importantes, observados também nas análises de fertilidade (**Volume I, Capítulo 8**). O pH dos solos onde foram realizadas as coletas, principalmente no BA1, eram baixos, variando entre 4 e 6, e por esse motivo os teores de Alumínio (Al) foram elevados, o que também pode aumentar a disponibilidade de Cd na solução do solo devido a sua acidez (DE VRIES et al., 2002; PAYE et al., 2010). Os altos valores Fe nas amostras biológicas neste BA pode ter diversas fontes além das naturais, como as atividades antrópicas que vão desde a agricultura até a urbanização (JUCHEN et al., 2014; SILVA et al., 2016). Mesmo assim, segundo os valores de referência disponíveis, nenhuma das amostras obtidas ultrapassou os limiares conhecidos como limitantes aos organismos em questão.

Embora sem valor de referência conhecido para níveis de intoxicação por ferro, este metal esteve elevado nas amostras de solo do BA1b, BA2 e BA3, e pode ter origem em Fe trocável, ou seja, reduzido. Se foi este o caso, seria esperado para áreas alagadas ou que sofrem com alagamentos (SOUSA; VAHL; OTERO, 2009). Esses teores

elevados de Fe podem ter também origem na classe e tipo de uso do solo, por exemplo, com atividade agrícola é intensa, à exceção do módulo 15Tb que está dentro do Parque Estadual Sete Salões e não possui áreas cultivadas. Esforços de identificação das classes de solo nestes locais específicos, poderiam responder melhor qual é a procedência das concentrações deste metal, já que temos uma estimativa das classes de solo geral para todos os módulos.

Quadro 15. Concentrações de metais pesados nos tecidos de Oligochaeta, analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral / Metal	N Amostral	Mín. mg*kg ⁻¹	Média	Desvio Padrão	Máx. mg*kg ⁻¹	Valor de referência mg*kg ⁻¹
BA1b						
Arsênio	53	0,05	0,42	0,26	1,29	100,00 ¹
Cádmio	53	0,18	1,94	1,63	6,26	706,00 ²
Chumbo	53	0,15	2,89	4,10	19,00	1551,00 ²
Cobre	53	2,51	7,96	4,11	19,00	150,00 ³
Cromo	53	0,01	0,21	1,06	7,79	2500,00 ¹
Ferro	53	257,00	3078,81	3177,50	12400,00	-
Manganês	53	5,51	78,54	62,92	270,00	-
Mercúrio	53	0,01	0,13	0,31	1,57	170,00 ⁴
Zinco	53	17,90	65,19	26,28	116,00	520,00 ¹
BA2						
Arsênio	40	0,11	0,46	0,39	1,84	100,00 ¹
Cádmio	40	0,19	0,63	0,56	2,79	706,00 ²
Chumbo	40	0,13	0,78	0,95	4,31	1551,00 ²
Cobre	40	3,29	8,10	3,80	16,70	150,00 ³
Cromo	40	0,03	0,09	0,06	0,27	2500,00 ¹
Ferro	40	1100,00	3709,00	1675,69	6670,00	-
Manganês	40	19,70	80,27	51,30	192,00	-
Mercúrio	40	0,01	0,06	0,09	0,40	170,00 ⁴
Zinco	40	40,00	87,20	45,55	256,00	520,00 ¹
BA3						
Arsênio	12	0,10	0,64	0,30	1,08	100,00 ¹
Cádmio	12	0,13	0,24	0,10	0,47	706,00 ²
Chumbo	12	0,97	2,18	1,00	3,52	1551,00 ²
Cobre	12	3,63	4,74	0,96	7,00	150,00 ³
Cromo	12	1,27	2,28	0,76	3,36	2500,00 ¹
Ferro	12	842,00	1462,50	489,47	2470,00	-
Manganês	12	53,40	85,36	17,39	120,00	-
Mercúrio	12	0,10	0,18	0,06	0,29	170,00 ⁴
Zinco	12	23,90	37,13	10,18	56,00	520,00 ¹

Valores de referência: 1 - (SIDDIQUE et al., 2008); 2 - (DADA et al., 2016); 3 - (MEREGALLI, 2017); 4 - (MARIUS GUDBRANDSEN, 2005).

Oligochaetas possuem diferentes tolerâncias a contaminação do solo por metais pesados, além de certa capacidade de aclimação a esse tipo de contaminação (BUCH et al., 2017; PAOLETTI, 1999). Teores desses elementos no solo, alteram a produtividade de matéria orgânica, que é um fator de manutenção das populações de minhocas no solo (LUKKARI et al., 2004). Outro fator relevante é o uso ocupação do solo. Por exemplo, as variadas atividades agrícolas na bacia do rio podem determinar grandes variação sobre a diversidade e abundância de minhocas (NAHMANI; ROSSI, 2003).

Quadro 16. Concentrações de metais pesados por amostra de Oligochaeta, analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025493	BA2	15TB	0,57	0,38	0,26	6,58	0,15	2200,00	52,80	0,03	80,00
8025494	BA2	15TB	0,71	1,83	1,04	14,80	0,12	4480,00	104,40	0,06	258,00
8025495	BA2	15TB	0,58	5,58	0,94	8,54	0,18	3100,00	39,40	0,28	131,20
8025496	BA2	15TB	1,70	0,97	2,34	9,50	0,17	3480,00	88,60	0,03	167,80
8025497	BA2	15TB	3,68	2,62	3,64	33,40	0,15	6440,00	133,00	0,17	512,00
8025498	BA2	15TB	0,51	0,95	2,84	16,60	0,26	3160,00	67,00	0,06	200,00
8025499	BA1b	12T	0,83	0,52	8,82	8,36	0,24	1144,00	12,48	0,06	68,60
8025500	BA1b	12T	1,05	0,57	16,28	9,20	0,05	1100,00	22,00	0,04	55,80
8025501	BA1b	12T	0,48	0,36	9,42	7,54	0,23	948,00	11,02	0,03	77,00
8025502	BA1b	12T	1,33	1,43	0,30	17,46	0,27	2480,00	76,40	0,17	66,40
8025503	BA1b	12T	2,18	2,18	2,10	19,86	0,39	2480,00	82,40	0,11	100,80
8025504	BA2	14T	1,63	1,56	0,47	12,74	0,10	13000,00	384,00	0,02	146,40
8025505	BA2	14T	0,70	0,86	0,29	9,52	0,06	8060,00	202,00	0,80	101,20
8025506	BA2	14T	1,57	0,83	0,28	10,22	0,09	9700,00	220,00	0,02	114,00
8025511	BA1b	11T	0,70	12,52	0,75	24,20	0,15	12800,00	540,00	0,05	232,00
8025512	BA1b	11T	0,62	7,84	0,55	16,62	0,16	7820,00	346,00	0,05	188,60
8025513	BA1b	11T	0,72	2,46	0,61	14,70	0,07	7280,00	186,00	0,07	138,20
8025514	BA1b	11T	1,63	1,17	0,55	15,14	0,09	7860,00	122,60	0,08	85,80
8025515	BA1b	12T	0,84	3,20	0,52	7,32	0,10	3780,00	156,00	0,19	108,20
8025516	BA1b	12T	0,49	3,48	0,63	11,98	0,09	5540,00	218,00	0,04	114,80
8025758	BA1b	06T	0,18	0,69	9,08	3,65	0,03	1180,00	15,70	0,17	17,90
8025792	BA1b	08T	0,05	0,82	2,08	4,73	0,05	1910,00	60,60	0,14	18,50
8025794	BA1b	05T	0,32	1,32	4,77	4,47	0,05	2760,00	92,10	0,50	29,10

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025800	BA1b	07T	0,10	0,85	3,13	2,51	0,05	257,00	22,50	0,52	22,30
8025807	BA1b	07T	1,29	1,48	5,73	9,12	7,79	4660,00	123,00	0,64	60,20
8025965	BA2	14T	0,99	1,10	0,66	32,40	0,31	13340,00	220,00	0,09	172,60
8025966	BA2	14T	0,86	1,37	0,83	22,80	0,11	13340,00	352,00	0,05	160,60
8025967	BA2	14T	0,50	1,02	0,48	14,28	0,09	4720,00	358,00	0,05	105,60
8025970	BA1b	10T	0,66	2,08	0,45	16,42	0,08	4260,00	256,00	0,06	136,80
8025971	BA1b	10T	1,07	3,62	4,86	20,00	0,08	4140,00	310,00	0,11	177,80
8025986	BA1b	10T	0,45	3,22	0,72	15,40	0,11	4640,00	312,00	0,06	139,00
8026022	BA1b	10T	1,01	4,74	0,63	19,86	0,28	4220,00	298,00	0,08	184,00
8026026	BA2	14T	0,71	0,76	0,63	8,98	0,08	6380,00	164,40	0,06	101,80
8026038	BA2	14T	0,39	0,80	1,37	25,20	0,19	9060,00	113,20	0,11	204,00
8026044	BA2	14T	0,60	0,96	0,64	20,20	0,23	8960,00	123,60	0,14	204,00
8026045	BA2	14T	0,41	0,60	8,62	23,20	0,20	7460,00	82,80	0,11	162,60
8026046	BA2	14T	0,40	0,85	2,06	14,12	0,15	8560,00	98,20	0,23	218,00
8026052	BA2	14T	0,39	0,60	0,88	14,26	0,34	7360,00	103,00	0,14	107,60
8026053	BA2	14T	0,22	0,57	2,64	15,24	0,10	5780,00	82,40	0,06	193,60
8026055	BA2	14T	1,24	0,93	0,37	11,46	0,53	9780,00	222,00	0,05	147,00
8026057	BA3	09I	0,95	0,28	2,67	3,63	3,32	2010,00	89,10	0,17	42,80
8026059	BA3	09I	0,94	0,47	3,52	7,00	2,79	1710,00	53,40	0,25	43,80
8026060	BA3	09I	0,84	0,32	3,17	4,14	2,50	1500,00	67,40	0,29	37,20
8026065	BA1b	10T	0,57	6,66	0,80	11,80	0,09	4500,00	127,20	0,04	107,40
8026066	BA1b	10T	0,94	9,86	0,91	13,08	0,11	4780,00	116,60	0,05	143,80
8026067	BA1b	10T	0,79	9,52	1,05	9,08	0,09	4580,00	128,60	3,14	168,00
8026069	BA1b	10T	0,36	0,82	13,64	9,08	0,16	742,00	34,20	0,06	115,20
8026070	BA1b	10T	0,53	0,95	8,88	13,28	0,03	1032,00	26,60	0,03	138,40
8026074	BA1b	10T	0,11	1,18	11,54	13,04	0,06	1104,00	21,00	0,02	173,80

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8026075	BA1b	10T	1,63	6,42	38,00	38,00	0,26	22800,00	164,40	0,06	206,00
8026076	BA1b	11T	0,65	6,16	2,84	29,40	0,03	17580,00	128,00	0,03	174,80
8026077	BA1b	11T	0,92	6,46	3,58	36,60	0,12	24800,00	153,20	0,04	206,00
8026082	BA3	PS	0,52	0,18	1,30	4,98	1,89	1170,00	97,30	0,19	53,10
8026083	BA3	PS	0,57	0,19	1,26	4,52	1,97	1200,00	95,00	0,17	32,40
8026086	BA3	09I	1,08	0,25	3,52	3,94	3,36	2470,00	81,30	0,18	34,30
8026098	BA3	09I	0,32	0,14	1,92	5,70	1,27	1050,00	72,00	0,10	23,90
8026099	BA3	PS	0,50	0,18	1,03	4,87	1,58	1150,00	80,30	0,18	27,30
8026105	BA3	PS	0,53	0,13	1,66	5,22	2,50	1610,00	120,00	0,12	34,10
8026114	BA3	09I	0,10	0,20	1,81	5,03	1,66	958,00	101,00	0,13	25,40
8026119	BA3	09I	0,89	0,32	3,32	3,71	3,11	1880,00	78,10	0,25	56,00
8026127	BA3	PS	0,44	0,17	0,97	4,09	1,36	842,00	89,40	0,15	35,30

2.5. Conclusões e recomendações

Foram avaliadas as populações de *Oligochaeta* pela primeira vez na **BHRD**, como requisito para o levantamento da abundância e diversidade de espécies desses animais, após o rompimento da barragem de Fundão em Mariana, MG. É o primeiro estudo que realiza inventário sistemático, inclusive taxonômico, deste grupo para toda a região, para avaliar riqueza e diversidade desses organismos para a maior Bacia Hidrográfica localizada inteiramente no domínio morfoclimático da Mata Atlântica. No entanto, com dados de campanha única não é possível identificar impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre as comunidades de minhocas.

Detectamos, após a única campanha realizada, que há queda na riqueza de espécies de minhocas à medida que as amostras se afastam em localização do leito do rio Doce, efeito notado no BA3 e BA4, especialmente depois de 1.000 m de distância do rio (**Figura 14C, D**). É um padrão esperado para organismos que dependem de fontes de umidade, talvez mais acentuado em uma parte do domínio do bioma que possui clima estacional. Contudo, em algumas parcelas do BA1b foram encontradas alta abundância de indivíduos de uma única espécie e em outros locais baixa abundância com alta diversidade de espécies (BA2-14T). Com esses resultados, é esperado que em um esforço maior de amostragem, seguindo algumas recomendações, poderão ser encontradas mais espécies de minhocas na **BHRD**. Além disso, o prolongado período de estiagem que ocorreu neste primeiro momento pode ter afetado negativamente as coletas de *Oligochaetas* em alguns módulos e parcelas.

Recomendamos, para os próximos estudos, a implantação de coletas de amostras maiores de solo nas parcelas onde foram encontrados minhocuços. Tal recomendação já fazia parte do projeto inicial pelo método de BARETTA et al. (2007), mas não se tinha relatos anteriores sobre a ocorrência desses animais nos locais onde foram encontrados. A presença desses organismos é usada para estipular as dimensões das escavações (NADOLNY et al. *no prelo*), e inclusive pode permitir que outras espécies sejam mais facilmente encontradas nos sítios de amostragem.

As coletas de solos para análises químicas e físicas de rotina em laboratórios especializados podem ser realizadas com alíquotas de solo retirados de cada buraco escavado a procura de *Oligochaetas*. Seguindo a coleta de um mínimo de atributos, pertinentes a muitos invertebrados do solo e que poderão ser disponibilizados a outros pesquisadores que realizam estudos sobre outros grupos da fauna edáfica.

Pensando especificamente sobre os objetivos gerais do programa de biodiversidade, a baixa capacidade de deslocamento das minhocas e a infraestrutura disponível, uma alternativa para entendimento dos possíveis impactos do rompimento é dedicar tempo e esforço de coleta direcionado apenas às *Parcelas Ripárias*, preferencialmente onde já detectamos padrões de variação da riqueza de espécies, BA3 e BA4, no primeiro relacionado positivamente à presença de Unidades de Conservação e no segundo negativamente à distância do rio Doce. Até o momento, portanto, com apenas uma campanha, não é possível identificar impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre as comunidades de minhocas, pois nenhum dos indicadores usados foi capaz de captar efeitos relacionáveis ao ocorrido.

2.5.1. Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento

No Parecer Técnico nº 01/2017 (IBAMA-COREC, 2017a), os órgãos ambientais levantaram oito perguntas principais que são o foco do presente estudo. Após a primeira campanha para coleta de dados de Oligochaeta ao longo do rio Doce e seus tributários, foi possível avaliar se tais questões são factíveis de serem respondidas ou não. Abaixo estão as questões com seus respectivos comentários.

1) Qual o impacto do evento sobre as espécies da fauna terrestre e aquática?

Este é o primeiro estudo que realiza inventário sistemático e avalia a riqueza e diversidade desses organismos de Oligochaeta para a **BHRD**. Detectamos queda na riqueza de espécies de minhocas à medida que as amostras se afastam do leito do rio Doce (BA3 e BA4), especialmente depois de 1.000 m. Este é um padrão de comportamento esperado para organismos que dependem de fontes de umidade, talvez mais acentuado em uma parte do domínio do bioma que possui clima estacional. O prolongado período de estiagem que ocorreu entre o rompimento da barragem e a primeira campanha de coleta também pode ter afetado negativamente nossos resultados, especialmente nas parcelas mais distantes do rio. Portanto, até o momento, com apenas uma campanha e com o processo de identificação de amostras ainda em andamento, não é possível atribuir ou determinar quais ou os níveis de impactos sofridos pelos Oligochaeta nas áreas amostradas.

2) Houve acumulação de metais nas diferentes espécies e no solo?

Não detectamos concentrações de metais pesados acima dos níveis de toxicidade conhecidos dos metais avaliados para as amostras de Oligochaeta analisadas.

3) Até qual distância do rio Doce a acumulação de metais foi observada?

Como não há amostras acima dos níveis de referência, não há resposta para esta pergunta.

4) Como os metais pesados estão circulando nas cadeias?

Não é possível responder a essa pergunta, pois não há metodologia específica no presente estudo que permita tal avaliação. O delineamento atual do estudo dá conta apenas de um estudo de inventário de comunidades. Não prevê o estudo específico e testes para descoberta e descrição de relações tróficas, que eventualmente poderiam ser testadas quanto a suas taxas de passagem de metais pesados entre níveis tróficos.

5) Como as taxas de ocupação das diferentes espécies são afetadas pelas distâncias de rios, bordas, estradas e ferrovias, e aspectos físicos e químicos?

Pergunta não respondida no presente estudo e, possivelmente, não aplicável para o grupo de Oligochaetas. Em relação à distância do rio Doce, isto foi avaliado especificamente e é apresentado nos resultados deste relatório.

6) Áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC) e aquelas fora de UC são semelhantes em termos de estruturas de comunidades ou são complementares?

Até o momento não percebemos diferenças entre as áreas amostradas dentro de UCs em relação às áreas externas, pois o processo de identificação de Oligochaeta é demorado e depende de processos específicos em laboratório. Como foram coletadas poucas espécies dentro e fora das UCs, sem a identificação não é possível avaliar diretamente essa relação. Além disso, o delineamento atual não é feito para abordar especificamente esta questão, que por sua vez, não possui relação direta com os impactos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão.

7) Como se dará a recolonização das áreas que foram restauradas?

Nenhuma parcela amostrada se encontra em áreas restauradas, por isso, não existe a possibilidade de responder essa pergunta.

8) É possível detectar mudanças na composição de espécies de fauna terrestre afetadas pelo desastre?

Como quase nenhuma parcela amostrada está dentro das áreas diretamente afetadas pela onda de rejeitos, dificilmente esta pergunta poderá ser avaliada e respondida. Para avalia-la de forma objetiva o monitoramento deve ser focado em áreas diretamente afetadas e não afetadas para que se consiga fazer uma associação direta com o rompimento da barragem de Fundão.

3. PROTOSTOMIA, FILO ARTHROPODA, CLASSE INSECTA

3.1. INFRACLASSE PALAEOPTERA, Ordens Odonata, Ephemeroptera, INFRACLASSE NEOPTERA, Ordem Trichoptera

3.1.1. Introdução

Representantes das ordens Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera são classificados como insetos aquáticos, pois estes colonizam os ambientes de água doce em pelo menos durante algum estágio de seu desenvolvimento (CORBET, 1983). Apesar de constituírem apenas ca. 3% das espécies de Hexapoda, representam 90% da fauna de invertebrados dos ambientes de água doce (HAMADA; NESSIMIAN; QUERINO, 2014), tendo papel indispensável na cadeia trófica e ciclagem de nutrientes, como fonte de alimento para peixes, aves e outros invertebrados (MERRITT; CUMMINS; BERG, 2008).

Os insetos aquáticos são amplamente utilizados como bioindicadores em programas de avaliação e monitoramento da qualidade de água (KITCHIN, 2005; MIGUEL et al., 2017) em ambientes lóticos (e.g., BAPTISTA, 2008; BUSS et al., 2015; GIESWEIN; HERING; LORENZ, 2019; NESSIMIAN et al., 2008). Seu uso só é possível devido à grande diversidade (taxonômica e ecológica) do grupo e acentuada sensibilidade às condições dos habitats e às pressões humanas (e.g., contaminação orgânica, contaminação por metais, assoreamento do leito dos rios, etc.). Além disso, seu grande número de espécie oferece um amplo espectro de resposta a perturbações. Estes insetos possuem ciclo de vida relativamente longo, são de fácil visualização em campo e os protocolos amostrais têm boa relação custo-benefício (MOULTON, 1998).

Várias métricas já foram desenvolvidas para avaliar a saúde dos rios com base nas comunidades de insetos aquáticos, dentre elas estão o BMWP (*Biological Monitoring Working Party score system*; HAWKES, 1982) e o ISMR (Índice Saprobiótico Minas-Rio; JUNQUEIRA; FRIEDRICH, 2011; JUNQUEIRA; FRIEDRICH; PEREIRA DE ARAUJO, 2010). O índice BMWP considera a presença/ausência das famílias de macroinvertebrados bentônicos, atribuindo um valor de 0 a 10 de acordo com seu grau de tolerância ou sensibilidade a poluentes (METCALFE, 1989).

JUNQUEIRA et al. (2018) realizaram um estudo no alto rio Doce antes do rompimento da barragem de Fundão (MG, Mariana) e avaliaram a qualidade da água, bem como adaptaram os índices BMWP e ISMR para seu uso em rios tropicais. Os dados deste estudo são de fundamental importância tanto para a aplicação das métricas de

biomonitoramento ao longo do médio e baixo rio Doce, quanto para a comparação dos índices antes e depois do rompimento da barragem de Fundão.

O Conceito do Rio Contínuo, descrito por VANNOTE et al. (1980) é um modelo largamente usado para interpretar características funcionais e estruturais das comunidades de ambientes lóticos, enfocando em mudanças graduais dos componentes físicos dos habitats dos rios e riachos. Este conceito prevê que o gradiente contínuo longitudinal das características abióticas, principalmente relacionado à ordem do córrego, afeta a disponibilidade dos diferentes recursos alimentares, que, por sua vez, estimulam a mudança nos Grupos Funcionais Alimentares das comunidades de macroinvertebrados. Além do mais, este conceito propõe que a maior riqueza de macroinvertebrados é encontrada em rios de médio porte (4^a a 6^a ordens; VANNOTE et al., 1980).

Com 6.500 espécies descritas, a ordem Odonata tem distribuição cosmopolita e está ausente apenas na Antártica (TRUEMAN; ROWE, 2009). O Brasil conta com o registro de ca. 800 espécies (SOUZA; COSTA; OLDRINI, 2007), sendo o Rio de Janeiro o estado com maior riqueza (280 espécies), seguido de São Paulo (251), Minas Gerais (218) e Mato Grosso do Sul (198) e Espírito Santo (180).

A ordem Ephemeroptera também é cosmopolita, coincidentemente apenas ausentes na Antártica, no extremo Ártico e em pequenas ilhas oceânicas (BARCELOS E SILVA; PES; SALLES, 2012; EDMUNDS; JENSER; BERNER, 1976). Atualmente a ordem é constituída por ca. 3.500 espécies e 42 famílias (SALLES et al., 2018) e ca. 340 espécies e 10 famílias no Brasil (SALLES et al., 2019). O Espírito Santo é o estado mais rico em Ephemeroptera do Brasil (92 táxons identificados), seguido do Rio de Janeiro (68) e Minas Gerais (55; SALLES et al., 2019).

A ordem Trichoptera possui distribuição mundial e é composta por ca. 15.000 espécies (HOLZENTHAL; CALOR, 2017), estando ausentes apenas na Antártica (WIGGINS, 2004). No Brasil são conhecidas 16 famílias, 70 gêneros e 656 espécies (SANTOS et al., 2019), sendo Minas Gerais o estado mais rico (177 espécies), seguido de Amazonas (175), Rio de Janeiro (160), São Paulo (130), Santa Catarina (121) e Espírito Santo (52; SANTOS et al., 2019).

Nenhum estudo com a finalidade específica de levantar a riqueza de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera na **BHrD** foi realizado até o momento. Porém, inventários das três ordens foram desenvolvidos para o ES (BARCELOS E SILVA; PES; SALLES,

2012; COSTA; OLDRINI, 2005; SALLES et al., 2010) e para algumas regiões de MG (DE SOUZA et al., 2013). Ademais, estudos taxonômicos de descrição de espécies novas do ES (DO NASCIMENTO; SALLES; HAMADA, 2017) e MG (DOMÍNGUEZ; MOLINERI; MARIANO, 2009) contêm representantes da **BHrD**, assim como estudos ecológicos (FERREIRA-PERUQUETTI; DE MARCO; DE MARCO JR., 2002; MASSARIOL; SOARES; SALLES, 2014). Dessa forma, o conhecimento acerca destas três ordens não é tão escasso para a bacia, mas está disperso na literatura.

A **BHrD** apresenta um quadro de grande perda de cobertura vegetal, proporcionando grandes superfícies sujeitas à erosão do solo, formando volumes consideráveis de sedimentos que são carregados para os cursos d'água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016). O assoreamento do leito dos rios é uma das principais ameaças sofridas pelos insetos bentônicos, influenciando negativamente a sua diversidade (WANTZEN; PINTO-SILVA, 2006). Além disso, a bacia funciona como canal receptor e transportador de rejeitos e efluentes produzidos pelas atividades econômicas humanas, esgoto domésticos, o que compromete a qualidade da água e consequentemente a diversidade de insetos bentônicos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016).

3.1.2. Objetivos específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico das espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera registradas para a **BHrD**;
- Gerar uma lista de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera coletadas na **Área de Estudo**, caracterizando as espécies encontradas quanto ao seu estado de conservação (BR, MG e ES), grupo funcional alimentar, endemismo e espécies exóticas;
- Estimar suficiência amostral através da curva de rarefação para os métodos utilizados nos Blocos Amostrais e Abordagens;
- Avaliar o padrão de distribuição espacial, riqueza, abundância e diversidade de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera nos Blocos Amostrais e Abordagens em função da distância do rio Doce e variáveis qualificadoras de uso e ocupação do solo;
- Avaliar a concentração de metais pesados nos tecidos dos insetos aquáticos;
- Destacar melhorias e/ou alterações metodológicas para o estudo;
- Apontar as espécies mais ameaçadas pelo rompimento da barragem de Fundão e as espécies que podem atuar como indicadoras ambientais;

- Indicar espécies ou grupo de espécies candidatas para a realização de estudos genéticos;
- Propor ideias de programas específicos.

3.1.3. Material e métodos

A campanha da estação seca foi realizada entre 08 de julho e 08 de outubro de 2018 e a campanha da estação chuvosa entre 24 de janeiro e 01 de abril de 2019, em um total de 299 dias amostrados. As coletas foram conduzidas por três equipes distintas: as equipes 1 e 2 foram as responsáveis pelas coletas dos imaturos das três ordens (Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera) e adultos de Ephemeroptera e Trichoptera, enquanto a equipe 3 realizou a coleta dos adultos de Odonata (**Quadro 17**). Todas as coletas foram conduzidas de acordo com a autorização nº 6/2018, processo nº 02001.001896/2018-05.

Quadro 17. Períodos de campo para o estudo de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Equipes	Grupo amostrado	Período	Dias
1	Imaturos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera e adultos dos últimos dois;	08-22/07/2018 25/08 a 24/09/2018 24/01 a 28/02/2019 10/03 a 16/03/2019	89
2	Imaturos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera e adultos dos últimos dois;	08-22/07/2018 25/08 a 24/09/2018 24/01 a 14/02/2019 27/02 a 20/03/2019 25/03 a 01/04/2019	98
3	Adultos de Odonata	09-20/07/2018 20/08 a 09/09/2018 17/09 a 08/10/2018 24/01 a 12/02/2019 22/02 a 30/03/2019	112

3.1.3.1. Área de estudo

A **Área de Estudo** se estende a jusante da barragem de Fundão, em Mariana (Minas Gerais) até a foz do rio Doce, em Linhares (Espírito Santo; **Volume I, Mapa 1**). A área encontra-se inserida no bioma Mata Atlântica e está localizada na Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, mais especificamente na **BHRD (Volume I, Mapa 3)**. Das 108 parcelas amostradas, 52 estão inseridas na Floresta Ombrófila Densa (FO) e 55 na Floresta Estacional Semidecidual. Outros detalhes estão descritos acima (**Volume I, Item 5.2, Mapa 3; APÊNDICE 2; APÊNDICE 3**). Todas as 108 parcelas que compreendem este estudo foram amostradas em pelo menos uma das quatro metodologias (*Pensilvânia, Lençol, Rede D, Puçá*), sendo 76 *Parcelas Terrestres*, 28 *Parcelas Ripárias* (5 em lagoas, 11 em afluentes, 8 no rio Doce e 4 no rio Gualaxo do Norte) e 4 parcelas em ilhas no rio Doce. Das *Parcelas Ripárias*, 27 constituem ambientes lóticos e cinco constituem ambientes lênticos.

O rio Doce compreende duas regiões principais – ritral e potamal (SCHÄFER, 1985). A maioria das parcelas localizadas em Minas Gerais pertence à região ritral do rio, pois foram observadas as seguintes características: velocidade da água variável, declividade do terreno alta, temperatura da água relativamente baixa, baixa concentração de matéria orgânica e sedimento com granulometria maior (cascalho e até rochas). As parcelas localizadas no Espírito Santo fazem parte da região potamal do rio, pois foram observadas as seguintes características: velocidade da água constante, declividade do terreno baixo, temperatura da água relativamente alta, alta concentração de matéria orgânica e sedimento com granulometria fina (areia, argila, lodo).

Os afluentes do rio Doce e do rio Gualaxo do Norte apresentaram grande diversidade de substratos, como folhiço de fundo, folhiço de superfície, macrófitas, rochas, areia, vegetação marginal, dentre outros. Constatamos grande quantidade de sedimento fino sobre os substratos, o que indica que os corpos d'água estão com algum nível de assoreamento. Apenas três riachos não apresentaram sinal de assoreamento, o Ribeirão Belém (parcela 1Pr18TB), localizada no PERD (**APÊNDICE 2**). As cinco lagoas amostradas possuíam margens florestadas (**APÊNDICE 2**) e não apresentavam sinais de eutrofização, apesar de grande quantidade de matéria orgânica. Vegetação marginal, macrófita e sedimento compunham os principais substratos encontrados.

3.1.3.2. Procedimentos de campo

3.1.3.2.1. Coleta de imaturos

Os imaturos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera foram coletados com *rede D*, com abertura de malha inferior a 1 mm (**APÊNDICE 2**). As amostragens foram realizadas em 17 parcelas (16 *Parcelas Ripárias*, 01 em *Ilha*) na estação seca e 22 parcelas (19 *Parcelas Ripárias*, 03 em *Ilhas*) na estação chuvosa (**APÊNDICE 3**). O sucesso amostral foi de 13,8 ind.*m⁻² na estação seca e 9,0 ind.*m⁻² estação chuvosa (**Quadro 22**). Não foi possível realizar a coleta dos imaturos em 15 e 10 parcelas nas campanhas da seca e chuvas, respectivamente, devido ao risco de afogamento (e.g., 7T1Pr, 10T1Pr), dificuldade de acesso às margens (e.g., 7I1P, 1Pr22T), restrições de acesso à área (e.g., 4T1Pr, módulos 22T e 23T) ou pelo corpo d'água estar seco (e.g., 14T1Pr; **Quadro 22**). Nas demais parcelas, as coletas foram conduzidas de duas formas – pelo método de arrasto ou coleta de 10 amostras isoladas correspondentes à sombra da *rede D*. A coleta de 10 amostras foi escolhida como uma alternativa a impossibilidade de realização do arrasto, devido a dois fatores principais: 1) a maioria dos corpos d'água possui sedimento de fundo extremamente fino, o que ocasionava atolamento do profissional; e 2) presença de cipós nas margens e leito, impossibilitando a coleta em 10 m contínuos de arrasto.

Dos 250 m de cada parcela, 50 foram selecionados para a realização da amostragem, de acordo com a facilidade de acesso ao corpo d'água. No método de arrasto, os 50 m foram subdivididos em 5 setores de 10 m cada. Realizamos dois arrastos em cada um dos setores, em um total de 10 amostras por parcela. Os arrastos foram realizados para contemplar a maior diversidade de mesohabitats disponível, dentre eles sedimento, folhiço de fundo, folhiço de superfície, vegetação marginal, areia, macrófitas, cascalho, pedras, entre outros. Além disso, nos ambientes lóticos, buscou-se amostrar em áreas com vários níveis de velocidade de água (desde sem correnteza até grande vazão). Tais fatores influenciam diretamente a composição da fauna de insetos aquáticos (KIKUCHI; UIEDA, 2005; SHIMANO et al., 2012), portanto, considera-los promove uma amostragem mais representativa da diversidade local.

Nas parcelas em que não foi possível a realização do arrasto, 10 amostras isoladas foram coletadas ao longo dos 50 m selecionados dentro da parcela. Assim como no arrasto, buscou-se amostrar os mais diversos mesohabitats. Todas as amostras de imaturos foram triadas em campo para evitar danos às estruturas morfológicas dos

espécimes, caracteres que permitem sua identificação. Os espécimes foram fixados em álcool 80% e acondicionados em tubos plásticos de 50 mL. Posteriormente, os espécimes foram enviados para triagem em nível de ordem no laboratório de invertebrados da empresa **Bicho do Mato Meio Ambiente Ltda.**

3.1.3.2.1. Coletas de adultos

Três metodologias distintas foram empregadas para a coleta de adultos – armadilhas *pensilvânia* (**Figura 19A**) e *lençol* branco (**Figura 19B**) para as coletas de Ephemeroptera e Trichoptera e rede entomológica (*puçá*; **Figura 19C**; **APÊNDICE 17** e **APÊNDICE 18**) para coletas de Odonata. A *pensilvânia* é uma armadilha do tipo passiva enquanto o *lençol* e o *puçá* são do tipo ativos.

Para as armadilhas *pensilvânia* e *lençol* branco, que são do tipo luminosa, foram utilizadas lâmpadas UV de 8W e duas de 20W, respectivamente, durante a estação seca. Na estação chuvosa foi utilizada uma lâmpada branca de 30 LEDs para a armadilha *pensilvânia* e duas de 30 LEDs para o *lençol* branco. Na estação seca foram amostradas 90 parcelas com a armadilha *pensilvânia* (40,5 ind.*arm⁻¹ de esforço amostral, **Quadro 22**) e 88 com o *lençol* branco (31,9 ind.*h⁻¹, **Quadro 22**). Na estação chuvosa foram amostradas 81 parcelas com a armadilha *pensilvânia* (115,3 ind.*arm⁻¹, **Quadro 22**) e 73 com o *lençol* branco (55,8 ind.*h⁻¹, **Quadro 22**). Não foi possível a coleta com *lençol* branco nas parcelas 15TA1P e 15TA2P durante as duas campanhas devido ao deslocamento perigoso no acesso de caminhonete durante o período noturno.

Todas as *pensilvânias* foram instaladas no final de cada parcela, no período crepuscular, em galhos de árvores distando 1,5 m do chão. A lâmpada foi mantida acesa até o amanhecer e as armadilhas foram recolhidas no dia posterior à instalação. Todos os lençóis foram instalados no início das parcelas e durante uma hora todos os insetos-alvo foram capturados com o auxílio de um sugador entomológico. Os Ephemeroptera coletados foram fixados em álcool 80% e acondicionados em um tubo plástico de 50 mL. Parte dos Trichoptera foi fixada em álcool e outra parte foi morta com acetato de etila e acondicionados em envelopes entomológicos para transporte ao laboratório de invertebrados da **Bicho do Mato Meio Ambiente Ltda.**

A captura dos espécimes de Odonata foi realizada por *busca ativa* com rede entomológica (*puçá*; **Figura 19C**), através de uma caminhada de ida e volta ao longo de cada módulo e parcelas, entre 09:00h e 16:00h. Os exemplares coletados foram colocados em envelopes sem passar por eutanásia, para terem tempo de esvaziarem

seus intestinos, diminuindo a proliferação de microrganismos que danificam a amostra e prejudicam a identificação.



Figura 19. Métodos de amostragem utilizados para captura de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. **A.** *Pensilvânia*. **B.** *Lençol branco*. **C.** Rede entomológica (*puçá*). **D.** *Rede D*.

Em seguida foram mortos com acetato de etila e acondicionados em envelopes para transporte ao laboratório. Posteriormente, já mortos, foram imersos em acetato de etila (**Figura 20A**), onde descansaram de 24h a 48h, para fixação da coloração dos exemplares, e então colocados para secar (**Figura 20B**). Em seguida, foram acondicionados em envelopes com naftalina, e guardados a seco (**Figura 20C**) e transportados ao laboratório onde foram identificados até o menor nível taxonômico possível. O sucesso amostral foi de 0,39 ind.*km⁻¹ e 1,77 ind.*km⁻¹ (**Quadro 22**) durante as campanhas da seca e chuva, respectivamente.



Figura 20. Métodos aplicados para a conservação dos adultos de Odonata capturados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. **A.** Exemplares imersos em acetato de etila. **B.** Envelopes separados de forma a evaporar o acetato de etila. **C.** Exemplares acondicionados a seco em potes com naftalina.

3.1.3.3. Procedimentos de laboratório

3.1.3.3.1. Triagem e identificação

Todas as amostras foram enviadas para o laboratório de invertebrados da **Bicho do Mato Meio Ambiente Ltda.** para triagem, em nível de ordem. Posteriormente, os espécimes foram enviados para especialistas para a identificação em menor nível taxonômico possível. A identificação dos espécimes de Odonata foi realizada com base em literatura especializada (GARRISON; VON ELLENRIEDER; LOUTON, 2006; HECKMAN, 2011; LENCIONI, 2005, 2006) e através da comparação com exemplares previamente identificados por outros especialistas. A identificação de Ephemeroptera foi realizada utilizando literatura especializada com as descrições originais dos táxons (DO NASCIMENTO; SALLES; HAMADA, 2017; DOMÍNGUEZ et al., 2006; SALLES et al., 2018). A bibliografia consultada está disponível em [Ephemeroptera Galactica](#). Quando necessário, lâminas de estruturas específicas (peças bucais, pernas, asas, genitália) foram montadas, de acordo com WALTZ & MCCAFFERTY (1987). A classificação taxonômica seguiu SALLES et al. (2019).

Os espécimes de Trichoptera foram identificados até o menor nível taxonômico possível com o auxílio de chaves de identificação (CALOR, 2007; HOLZENTHAL; THOMSON; RÍOS-TOUMA, 2014; PAPROCKI; FRANÇA, 2014; PES; HAMADA; NESSIMIAN, 2005) e artigos contendo descrições originais de espécies (CALOR; FROEHLICH, 2008). Os organismos foram examinados em microscópio estereoscópico em magnificação até 40 vezes e comparados com a literatura científica.

3.1.3.3.2. Captura de imagens

As imagens dos espécimes de Ephemeroptera foram obtidas usando um microscópio estereoscópico Zeiss (Steim 2000-C) acoplado a uma câmera digital Zeiss (Axiocam ERc 5s). Para produzir imagens finais de qualidade, várias fotos foram processadas usando o programa Helicon Focus® versão 6.3.5. As imagens e as montagens das pranchas foram realizadas utilizando o programa Adobe Photoshop® (*Versão de Avaliação, Gratuita*).

3.1.3.4. Tombamento do material testemunho

Os exemplares da ordem Odonata serão depositados na Coleção Zoológica Norte Capixaba (CZNC), São Mateus, ES e no do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia

Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. Os exemplares da ordem Ephemeroptera serão depositados na Coleção Zoológica do Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA), Santa Teresa, Espírito Santo e no Museu Regional de Entomologia da Universidade Federal de Viçosa (UFVB), Viçosa, Minas Gerais. Os exemplares de Trichoptera serão depositados na Coleção entomológica do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (MCN-PUC Minas).

3.1.3.5. Análise dos dados

3.1.3.5.1. Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Para a elaboração da lista de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera com potencial ocorrência para a **BHrD** foram levantados dados secundários de estudos taxonômicos e ecológicos feitos na região. Devido ao grande volume de dados, foram incluídas na lista as espécies que apresentavam pelo menos um registro para a bacia. Além disso, foram realizadas buscas específicas por localidades dentro da base de dados do [SpeciesLink](#).

Os dados de distribuição das espécies de Odonata foram retirados inicialmente dos livros “*Encyclopedia of South American Aquatic Insects: Odonata - Anisoptera*” (HECKMAN, 2011) e “*Encyclopedia of South American Aquatic Insects: Odonata - Zygoptera*” (HECKMAN, 2011). Para as espécies que apresentavam distribuição no ES ou MG foi realizada uma investigação em artigos de inventário, taxonomia e ecologia das espécies (COSTA; OLDRINI, 2005; FERREIRA-PERUQUETTI; DE MARCO; DE MARCO JR., 2002).

Os dados utilizados para a distribuição geográfica dos Ephemeroptera foram extraídos do livro “*Ephemeroptera of South America*” (DOMÍNGUEZ et al., 2006) e do sítio eletrônico “[Ephemeroptera do Brasil](#)”. Buscamos também em inventários de fauna, descrições de espécies e estudos ecológicos (CRUZ; SALLES; HAMADA, 2017; DO NASCIMENTO; SALLES; HAMADA, 2017; MASSARIOL; SOARES; SALLES, 2014; SALLES et al., 2010). Os dados de distribuição geográfica das espécies de Trichoptera foram retirados do sítio eletrônico “[Brazilian Caddisflies](#)” e do catálogo mais recente de Trichoptera neotropicais (HOLZENTHAL; CALOR, 2017). Para as espécies que apresentavam distribuição no ES e MG também buscamos em inventários e taxonomia do grupo (BARCELOS E SILVA; PES; SALLES, 2012; PAPROCKI; FRANÇA, 2014).

3.1.3.5.2. Sucesso amostral

O sucesso de captura por armadilha foi calculado de três formas diferentes. Para as armadilhas *pensilvânia* e *lençol* foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Sucesso de captura (\%)} = \frac{n^{\circ} \text{ de capturas}}{n^{\circ} \text{ de armadilhas} * n^{\circ} \text{ de noites de amostragem}} * 100$$

Para a coleta com *rede D*:

$$\text{Sucesso de captura (\%)} = \frac{n^{\circ} \text{ de capturas}}{\text{área das armadilhas} * n^{\circ} \text{ de noites de amostragem}} * 100$$

Para a coleta com *rede entomológica (puçá)*:

$$\text{Sucesso de captura (\%)} = \frac{n^{\circ} \text{ de capturas}}{\text{km percorridos} * n^{\circ} \text{ de noites de amostragem}} * 100$$

3.1.3.5.3. Suficiência amostral

A suficiência amostral foi estimada para cada método de captura (*rede D*, *pensilvânia*, *lençol* e *puçá*) por meio de curva de rarefação e estimador de diversidade não-paramétrico *Jackknife-1* (HELLMANN & FOWLER, 1999) utilizando-se o número de espécies por UA. As análises foram realizadas utilizando o programa PAST, versão 3.22 (HAMMER & HARPER, 2001).

3.1.3.5.4. Distribuição geográfica

Os dados de distribuição geográfica utilizados para cada uma das ordens foram retirados da literatura (Item 3.1.4.1).

3.1.3.5.5. Status de conservação

Dados do *status* de conservação foram extraídos dos Livros Vermelhos da Fauna Ameaçada de Extinção para o Brasil, ES, MG e IUCN (Volume I, Item 5.7).

3.1.3.5.6. Classificação de Grupo Funcional Alimentar

Os imaturos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera foram classificados quanto ao seu grupo funcional alimentar através de chave específica (CUMMINS; MERRITT; ANDRADE, 2005) e literatura dedicada ao tema (FRANCISCHETTI; DA-SILVA, 2001; MERRITT; CUMMINS; BERG, 2008; SALLES et al., 2018). A classificação foi extrapolada para os adultos cujos imaturos são conhecidos na literatura.

3.1.4. Resultados

3.1.4.1. Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce

A literatura reporta a ocorrência de 60 espécies e 35 gêneros de Odonata, 84 espécies e 39 gêneros de Ephemeroptera e 87 espécies e 34 gêneros de Trichoptera (**Quadro 18; APÊNDICE 19**) na **BHrD**. A riqueza de Odonata levantada para a **BHrD** corresponde à 7% do número de espécies registradas para o Brasil, 33% do total de espécies registradas para o ES e 27% das espécies registradas para MG. A riqueza de Ephemeroptera da **BHrD** corresponde a ca. 24%, 90% e 150% das espécies registradas para o Brasil, ES e MG, respectivamente. A riqueza de Trichoptera da **BHrD** representa ca. 13%, 170% e 50% da riqueza do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). As três ordens estudadas apresentam alta riqueza de espécies na **BHrD**. Vale destacar a riqueza de Ephemeroptera e Trichoptera registrada para a bacia, ultrapassando o número de espécies registradas para todo o estado de MG e ES, respectivamente.

Há 30 espécies endêmicas da **BHrD** (14 espécies de Trichoptera, 13 de Ephemeroptera e 3 de Odonata), 43 espécies endêmicas da Mata Atlântica (21 espécies de Trichoptera, 16 de Ephemeroptera e 6 de Odonata) e 34 espécies endêmicas do Brasil (22 de Ephemeroptera, 7 de Trichoptera e 5 de Odonata; **APÊNDICE 19**). Apenas uma dentre as 231 espécies levantadas é classificada como exótica, *Cloeon smaeleni* Lestage, 1924 (Ephemeroptera, Baetidae; **APÊNDICE 19**). A distribuição desta espécie era restrita à Região Afrotropical e Península Ibérica, porém sua presença no Brasil foi detectada em coletas realizadas a partir de 2009 em seis localidades próximas à costa do ES, dentre elas está o Porto de Vitória, ES. O estudo de SALLES et al. (2014a) revelou que os espécimes de *C. smaeleni* encontrados no ES foram introduzidos recentemente. Apesar de não ser possível determinar onde ou como ocorreu a introdução dessa espécie na Região Neotropical, sua presença sugere que ela tenha chegado através de embarcações provenientes da África (SALLES et al., 2014b).

Quadro 18. Riqueza de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera registradas para o Brasil, ES, MG, **BHRD** e **Área de Estudo** da Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

	Brasil	ES	MG	BHRD	Área de estudo
Odonata	800	180	218	60	66
Ephemeroptera	340	92	55	84	61
Trichoptera	656	52	177	87	28

Seis espécies registradas para a **BHRD** estão ameaçadas de extinção (**APÊNDICE 19**), sendo que os Ephemeroptera aparecem apenas na lista federal (*Adebrotus lugoi* Salles, 2010; *Baetodes iuaquita* Souza, Salles & Nessimian, 2011; *Camelobaetidius spinosus* Boldrini & Salles, 2012 e *Hermanella nigra* Nascimento & Salles, 2013), enquanto as espécies de Odonata aparecem tanto na lista federal quanto de MG (*Leptagrion bocainense* Santos, 1979 e *Heteragrion petiense* Machado, 1988). Todas as espécies estão classificadas na categoria “Vulnerável” em pelo menos uma das listas vermelhas consultadas, com exceção de *H. petinense* que é classificada na categoria “Em Perigo” no Livro Vermelho Nacional.

3.1.4.2. Diagnóstico da Área de Estudo

Um total de 22.204 espécimes de insetos aquáticos pertencentes às ordens Odonata (1.080), Ephemeroptera (14.787) e Trichoptera (6.337) foram coletados durante as campanhas nas estações seca e chuvosa do primeiro ano de monitoramento. Destes, 79,2% dos espécimes (**APÊNDICE 19; APÊNDICE 20**) puderam ser identificados em nível de espécie ou morfoespécie, os demais não foram considerados nas análises por estarem identificados em nível de gênero ou família.

Foram registradas para a **Área de Estudo** um total de 66 espécies de Odonata, 61 espécies de Ephemeroptera e 28 espécies de Trichoptera (**APÊNDICES 19, 20, 21, 22, 22**). Apenas espécies de Odonata coletadas na **Área de Estudo** são classificadas como ameaçadas de extinção. Nenhuma das espécies de Ephemeroptera e Trichoptera coletadas são consideradas atualmente ameaçadas.

3.1.4.2.1. Bloco Amostral 1a – Restinga, Vegetação Costeira

Odonata. Durante o primeiro ano de monitoramento, capturamos no BA1a 35 espécimes de Odonata (**Quadro 19**), de 18 espécies e 5 famílias (**APÊNDICE 19**). Isto representa 2,25%, 10% e 8,25% das espécies de Odonata conhecidas para o Brasil, ES e MG (**Quadro 18**), respectivamente. Cerca de 65% das espécies coletadas no BA1a (e.g., *Ischnura capreolus*, *Castoraeshna castor*, *Castoraeshna januarina*, *Idiogomphoides ictinia*) não apresentavam registros para a **BHRD** até o presente estudo.

Quadro 19. Riqueza, abundância e diversidade (*Shannon-Wiener*) de Odonata amostrados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Estação	Abordagem	Riqueza	Abundância	Diversidade (H')
BA4	Seca 2018	PT	0	0	0
		PR	0	0	0
	Chuvvas 2019	PT	3	3	1,099
		PR	28	60	3,154
BA3	Seca 2018	PT	3	5	1,055
		PR	32	231	3,223
		I	19	43	2,59
	Chuvvas 2019	PT	8	29	1,608
		PR	46	212	3,624
		I	9	35	1,97
BA2	Seca 2018	PT	0	0	0
		PR	2	2	0,6931
	Chuvvas 2019	PT	5	5	1,609
		PR	17	30	2,691
BA1b	Seca 2018	PT	15	59	2,352
		PR	23	41	2,959
		I	2	3	0,6365
	Chuvvas 2019	PT	21	90	2,484
		PR	21	43	2,859
		I	6	14	1,611
BA1a	Seca 2018	PT	2	2	0,6931
		PR	13	15	2,523
	Chuvvas 2019	PT	2	4	0,563
		PR	4	14	1,24

*parcelas não visitadas não estão listadas.

A riqueza e abundância foram maiores nas *Parcelas Ripárias*, tanto na estação seca (S = 13; N = 15) quanto na estação chuvosa (S = 4; N = 14), do que nas *Parcelas Terrestres* (S = 2, N = 2 na estação seca; S = 2, N = 4 na estação chuvosa; **Quadro 19**). O mesmo padrão foi encontrado para o índice de diversidade de *Shannon*, que apresentaram os

maiores valores para as *Parcelas Ripárias* ($H' = 2,523$ na seca; $H' = 1,24$ na chuva vs. $H' = 0,6931$ na seca; $H' = 0,563$ na chuva; **Quadro 19**).

As espécies com maior abundância foram *A. minutum* ($N = 6$) e *Erythrodiplax umbrata* ($N = 6$) e 12 espécies tiveram abundância igual a 1, dentre elas *Acanthagrion gracile*, *C. januaria* e *I. ictinia* (**APÊNDICE 20**). Todos os representantes da ordem Odonata são predadores generalistas, imaturos e adultos. Assim, as espécies registradas são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) predador (P). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 7 (e.g., Coenagrionidae) e máximo de 8 (e.g., Aeshnidae; **APÊNDICE 20**).

Duas espécies coletadas no BA1a encontram-se ameaçadas — *C. januaria* (Hagen, 1867) “vulnerável” (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018) e *I. ictinia* Selys, 1878, “Criticamente Em Perigo” no ES (PASSAMANI; MENDES, 2007). *Castoraeschna januaria* e *I. ictinia* não foram encontradas exclusivamente no BA1a, sendo a primeira encontrada também no BA1b e BA3 e a segunda no BA3 e BA4 (**APÊNDICE 19**). As curvas de acumulação de espécies de Odonata no BA1a em suas diferentes abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para ambos os métodos (**Gráfico 3**).

Ephemeroptera. Capturamos 2.458 exemplares, pertencentes a 6 espécies e 4 famílias (**APÊNDICE 19**). A riqueza amostrada corresponde a 1,8%, 6,7% e 10,9% das espécies de Ephemeroptera conhecidas para o Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Das seis espécies amostradas, *Paracloeodes charrua*, *Traverhyphes (Mocoihyphes) yuati* e *Tortopus igaranus* não haviam sido registradas até o momento para a **BHRD**.

A riqueza e a abundância foram maiores na estação chuvosa, tanto nas *Parcelas Ripárias* ($S = 5$, $N = 2379$) quanto nas *Parcelas Terrestres* ($S = 3$, $N = 21$), do que na estação seca ($S = 1$, $N = 2$ nas *Parcelas Terrestres*; $S = 1$, $N = 56$ nas *Parcelas Ripárias*; **Quadro 20**). Entretanto, a diversidade nas *Parcelas Ripárias* ($H' = 0,09132$) foi menor do que nas *Parcelas Terrestres* ($H' = 0,8468$; **Quadro 20**), devido à predominância de *Campsurus truncatus* (**APÊNDICE 19**). A espécie realiza grandes revoadas em determinadas épocas do ano para acasalamento (DOMINGUEZ et al., 2006), o que fez com que em apenas uma armadilha (*pensilvânia*) fossem capturados 2.272 indivíduos (92% da abundância total da BA1a). As espécies que tiveram menor abundância foram *Cloeodes aymore* e *Tortopus igaranus*, com dois espécimes cada.

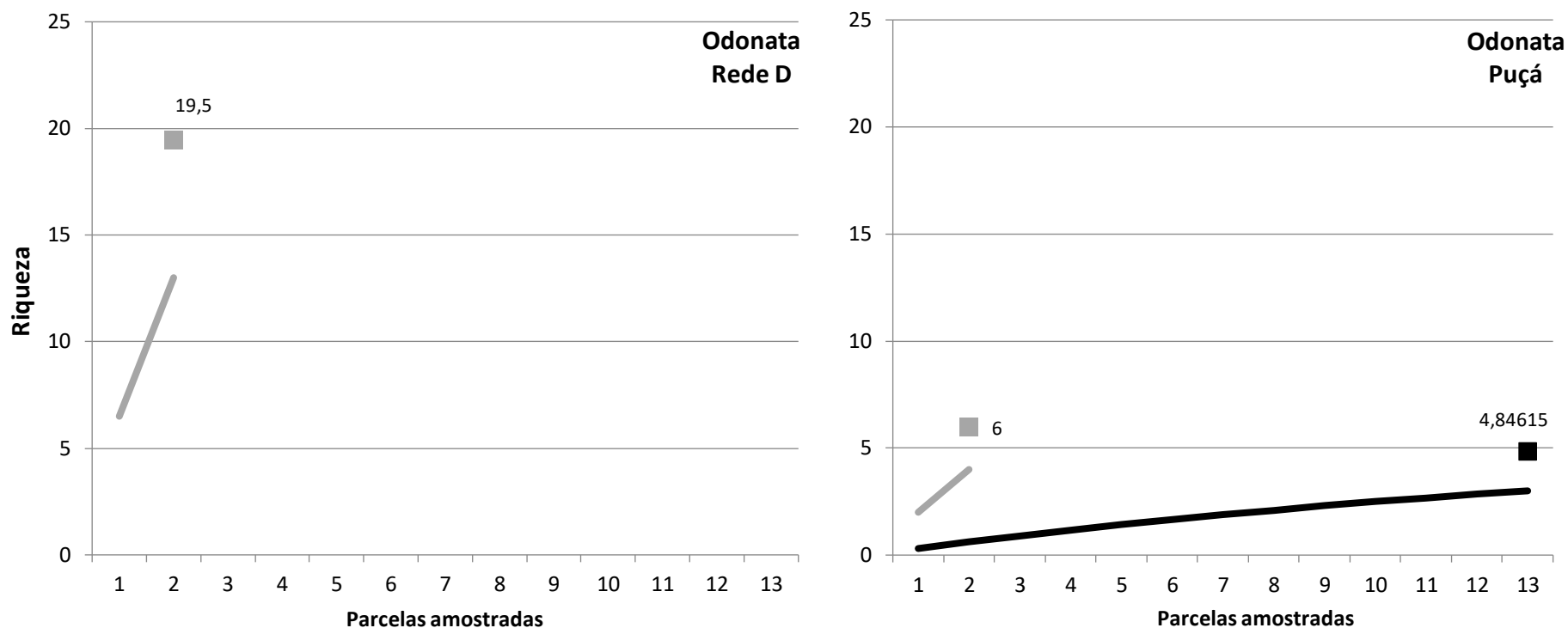


Gráfico 3. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D* e *Puçá* para os Odonata coletados no BA1a durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em preto – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

Quadro 20. Riqueza, abundância e diversidade (índice de *Shannon-Wiener*) de Ephemeroptera amostrados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Estação	Abordagem	Riqueza	Abundância	Diversidade (H')
BA4	Chuvas 2019	PT	2	14	0,2573
		PR	10	118	1,49
BA3	Seca 2018	PT	1	1	0
		PR	35	1961	1,895
		I	10	45	1,999
	Chuvas 2019	PT	5	26	1,309
		PR	28	5354	1,391
BA2	Seca 2018	I	0	0	0
		PT	1	1	0
		PR	2	4	0,6931
	Chuvas 2019	PT	0	0	0
		PR	7	30	1,487
BA1b	Seca 2018	PT	2	2	0,6931
		PR	11	349	1,193
		I	2	38	0,3365
	Chuvas 2019	PT	2	2	0,6931
		PR	10	1608	1,315
BA1a	Seca 2018	I	6	355	0,9727
		PT	1	2	0
		PR	1	56	0
	Chuvas 2019	PT	3	21	0,8468
		PR	5	2379	0,09132

*parcelas não visitadas não estão listadas.

As espécies registradas pertencem a três Grupos Funcionais Alimentares (GFA): coletor-apanhador (CA), raspador (R), e coletor-filtrador (CF). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Baetidae) e máximo de 7 (e.g., Polymitarcyidae; **APÊNDICE 20**). *Campsurus truncatus*, espécie predominante neste BA, possui ninfas que escavam túneis em forma de “U” no leito de corpos d’água lânticos, como rios de grande porte, lagoas e alagados (DOMÍNGUEZ et al., 2006). As curvas de acumulação de espécies de Ephemeroptera no BA1a e Abordagens (PT, PR, I) foram ascendentes, sem estabilização, para *Pensilvânia* e *Lençol* (**Gráfico 4**). Não foi possível gerar a curva de rarefação para *Rede D*, devido ao baixo número de dados coletados (apenas uma espécie – *Caenis fittkaui* – em uma localidade).

Trichoptera. Coletamos 86 indivíduos, de 7 espécies e 3 famílias (**APÊNDICE 20**), correspondente a 1,1%, 13,5% e 3,9% das espécies do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Nenhuma das espécies identificadas em nível específico ou em morfoespécie foi coletada em *Parcelas Terrestres*. As *Parcelas Ripárias* foram mais ricas e abundantes durante a estação seca (S = 4, N = 45 vs. S = 2, N = 4 chuvas).

A diversidade também seguiu este padrão ($H' = 1,197$ seca vs. $H' = 0,5623$ chuvas; Quadro 21).

Quadro 21. Riqueza, abundância e diversidade (índice de *Shannon-Wiener*) de Trichoptera amostrados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Estação	Abordagem	Riqueza	Abundância	Diversidade (H')
BA4	Chuvas 2019	PT	0	0	0
		PR	6	63	1,102
BA3	Seca 2018	PT	0	0	0
		PR	15	2218	1,624
		I	6	19	1,309
	Chuvas 2019	PT	0	0	0
		PR	20	751	2,258
		I	0	0	0
BA2	Seca 2018	PT	0	0	0
		PR	16	88	2,342
	Chuvas 2019	PT	0	0	0
		PR	4	6	1,242
BA1b	Seca 2018	PT	0	0	0
		PR	9	347	1,505
		I	2	73	0,6855
	Chuvas 2019	PT	0	0	0
		PR	8	238	1,329
		I	2	16	0,6211
BA1a	Seca 2018	PT	0	0	0
		PR	4	45	1,197
	Chuvas 2019	PT	0	0	0
		PR	2	4	0,5623

*parcelas não visitadas não estão listadas.

As morfoespécies *Leptoceridae* sp.1 e *Hydroptilidae* sp.1 foram as mais abundantes no BA1a, com 24 e 20 espécimes, respectivamente. *Nectopsyche* sp.7 e *Leptonema viridianum* foram as menos abundantes, 3 e 5 indivíduos, respectivamente (**APÊNDICE 20**). As espécies e morfoespécies de Trichoptera são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) coletor-apanhador (CA), raspador (R), e coletor-filtrador (CF). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., *Hydropsychidae*) e máximo de 7 (e.g., *Leptoceridae*; **APÊNDICE 19**). As curvas de acumulação de espécies de Trichoptera no BA1a e Abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para os métodos de coleta *Pensilvânia* e *Lençol* (**Gráfico 5**). Não foi possível gerar a curva de rarefação para *rede D*, pois nenhum exemplar foi amostrado através deste método.

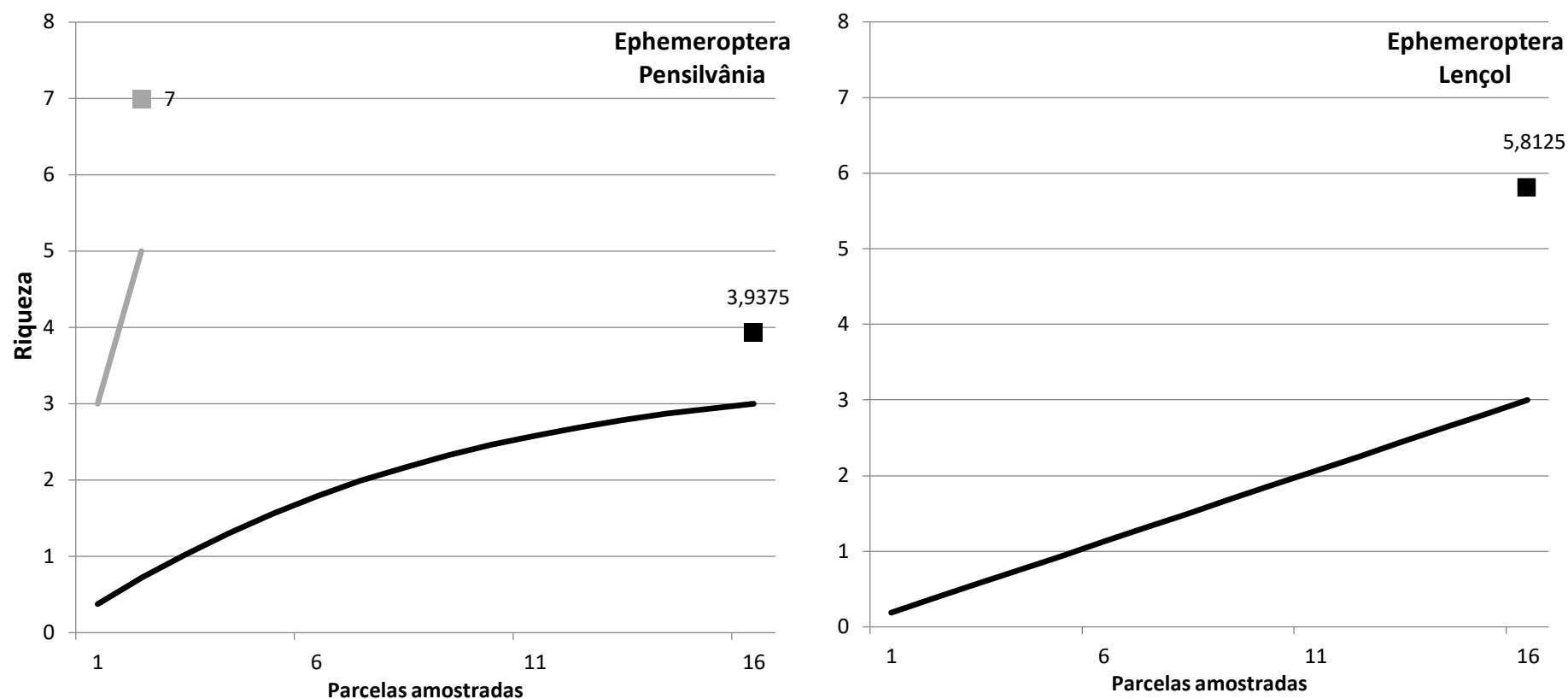


Gráfico 4. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Pensilvânia* e *Lençol* para os Ephemeroptera coletados no BA1a durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método de coleta *Rede D*, devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em preto – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

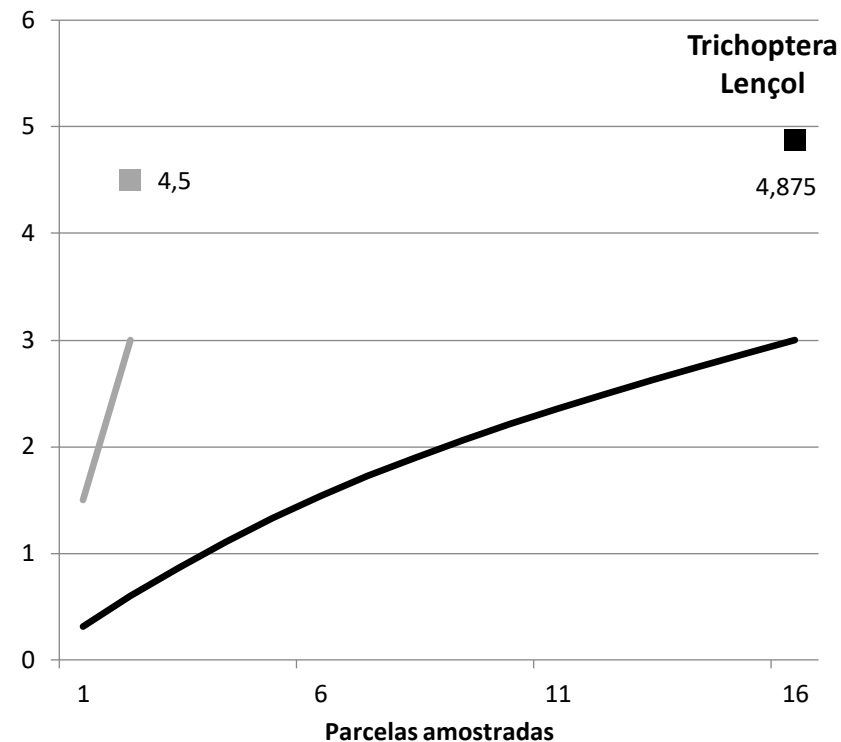
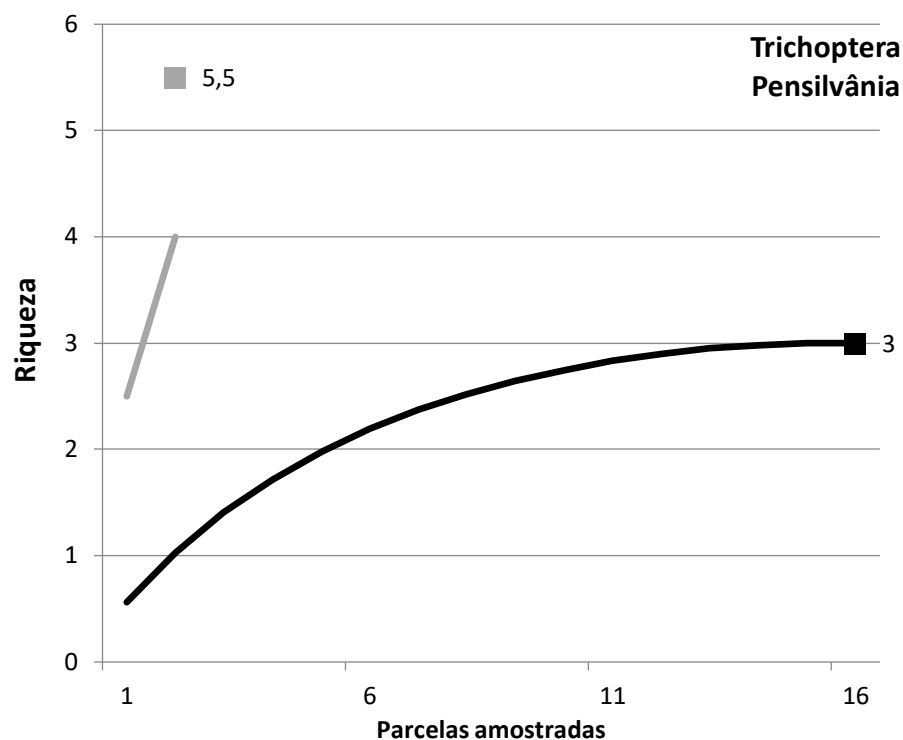


Gráfico 5. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Pensilvânia* e *Lençol* para os Trichoptera coletados no BA1a durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método de coleta *Rede D*, devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em preto – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

3.1.4.2.1. Bloco Amostral 1b – Ombrófila densa costeira

Odonata. Capturamos 250 espécimes, de 46 espécies e 5 famílias (**APÊNDICE 20**), o que representa 5,75%, 25,55% e 21,10% das espécies de Odonata conhecidas para o Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Cerca de 55% das espécies coletadas no BA1b (e.g., *Acanthagrion cuyabae*, *Castoraeshna castor*, *Gynacantha chelifera*, *Tramea cophyssa*) não apresentavam registros para a **BHrD** até o presente estudo.

A maior riqueza registrada foi nas *Parcelas Ripárias* durante a estação seca ($S = 23$), seguida de *Parcelas Ripárias* e *Parcelas Terrestres* na estação chuvosa, com 21 espécies cada. As maiores abundâncias ocorreram nas *Parcelas Terrestres* (90 ind. na estação chuvosa, 59 na estação seca; **Quadro 19**). A diversidade de Shannon foi maior nas *Parcelas Ripárias* ($H' = 2,959$ na seca; $H' = 2,859$ na chuva) e menor nas *Ilhas* ($H' = 0,6365$ na seca; $H' = 1,611$ na chuva; **Quadro 19**).

As espécies mais abundantes foram *Erythrodiplax umbrata* ($N = 27$) e *Telagrion longum* ($N = 14$) e 13 espécies tiveram abundância igual a 1, dentre elas estão *Acanthagrion minutum*, *Leptagrion dispar* e *Telebasis corallina* (**APÊNDICE 20**). Todos os representantes da ordem Odonata são predadores generalistas, tanto os imaturos quanto os adultos e, portanto, são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) predador (P). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 7 (e.g., Coenagrionidae) e máximo de 8 (e.g., Aeshnidae; **APÊNDICE 19**).

Uma espécie é considerada ameaçada – *C. januaria* (Hagen, 1867), classificada como “vulnerável” nacionalmente. A espécie não foi coletada apenas no BA1b, mas também Blocos 1a e 3 (**APÊNDICE 20**). As curvas de acumulação de espécies de Odonata e suas Abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para ambos os métodos de coleta – *rede D* e *puçá* (**Gráfico 6**).

Ephemeroptera. Capturamos 2.352 espécimes, de 16 espécies e 5 famílias durante as estações seca e chuvosa (**APÊNDICE 20**), correspondendo a 4,7%, 17,8% e 29% das espécies de Ephemeroptera do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Das 16 espécies amostradas, *Aturbina georgei*, *Callibaetis* (*Abaetuba*) *pollens*, *Paracloeodes charrua*, *Caenis elidioi* (**APÊNDICE 20**), *Traverhyphes* (*Mocoihyphes*) *yuati* e *Campsurus violaceus* não haviam sido registradas até o momento para a **BHrD**.

As *Parcelas Ripárias* apresentaram uma maior riqueza ($S = 11$ na estação seca; $S = 10$ chuvas) quando comparada com as *Parcelas Terrestres* ($S = 2$ ambas as estações) e

Ilhas ($S = 2$, $S = 6$, seca e chuvas, respectivamente; **Quadro 20**). As maiores abundâncias foram encontradas nas *Parcelas Ripárias* ($N = 1.608$) e nas *Ilhas* ($N = 355$), ambas durante a estação chuvosa. A diversidade de *Shannon* foi maior nas *Parcelas Ripárias* ($H' = 1,315$ chuvas; $H' = 1,193$ seca), seguidos de parcelas em *Ilhas* ($H' = 0,9727$ chuva) e das *Parcelas Terrestres* ($H' = 0,6931$ ambas as estações; **Quadro 20**).

Campsurus violaceus e *Aturbina georgei* foram as espécies mais abundantes (729 e 493 ind., respectivamente). As menos abundantes foram *Paracloeodes eurybranchus* ($N = 1$) e *Callibaetis (Abaetuba) pollens* ($N = 2$; **APÊNDICE 20**). As espécies registradas pertencem a três Grupos Funcionais Alimentares (GFA): coletor-apanhador (CA), raspador (R), coletor-filtrador (CF) e filtrador (F). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Baetidae) e máximo de 8 (e.g., Leptophlebiidae; **APÊNDICE 19**). *Campsurus violaceus*, espécie predominante neste BA, possui ninfas que escavam túneis em forma de “U” no leito de corpos d’água lênticos, como rios de grande porte, lagoas e alagados (DOMÍNGUEZ et al., 2006). As curvas de acumulação de espécies de Ephemeroptera no BA1b e Abordagens (PT, PR, I), foram ascendentes, sem estabilização, para todos os métodos de coleta (**Gráfico 4, Gráfico 7**).

Trichoptera. Coletamos 921 indivíduos, de 13 espécies e 5 famílias (**APÊNDICE 20**), correspondendo a 2,0%, 25% e 7,3% das espécies registradas para o Brasil, ES e MG (**Quadro 18**), respectivamente. Das espécies identificadas em nível específico ou em morfoespécie, nenhuma foi coletada em *Parcelas Terrestres*. As coletas em *Parcelas Ripárias* foram mais ricas e abundantes ($S = 9$, $N = 347$ seca; $S = 8$, $N = 238$ chuva) que nas *Ilhas* ($S = 2$, $N = 73$ seca; $S = 2$, $N = 16$ chuva; **Quadro 21**). O mesmo foi observado para diversidade, maior nas *Parcelas Ripárias* ($H' = 1,505$ seca; $H' = 1,329$ chuva) que nas *Ilhas* ($H' = 0,6855$ seca; $H' = 0,6211$ chuva; **Quadro 21**).

As morfoespécies *Smicridea (Smicridea) sp.3* e *Hydroptilidae sp.1* foram as mais abundantes (368 e 188 ind., respectivamente). *Chimarra (Curgia) cultellata* e *Nectopsyche sp.1* foram as menos abundantes (1 ind. cada; **APÊNDICE 20**). Esses Trichoptera são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) coletor-apanhador (CA), raspador (R), e coletor-filtrador (CF). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Hydropsychidae) e máximo de 8 (e.g., Leptoceridae; **APÊNDICE 19**). As curvas de acumulação de espécies de Trichoptera e Abordagens (PT, PR, I), foram ascendentes, sem estabilização, para *Pensilvânia* e *Lençol* (**Gráfico 8**). Não foi possível gerar a curva de rarefação para *rede D*, pois nenhum exemplar identificado em nível de espécie ou morfoespécie foi amostrado através deste método.

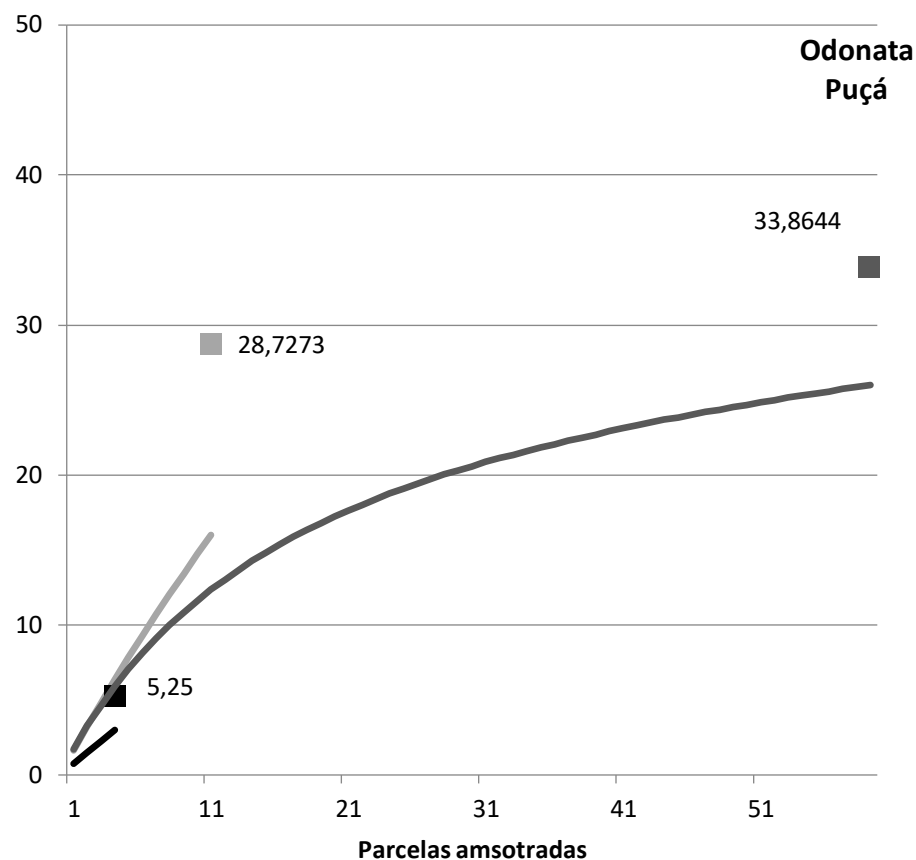
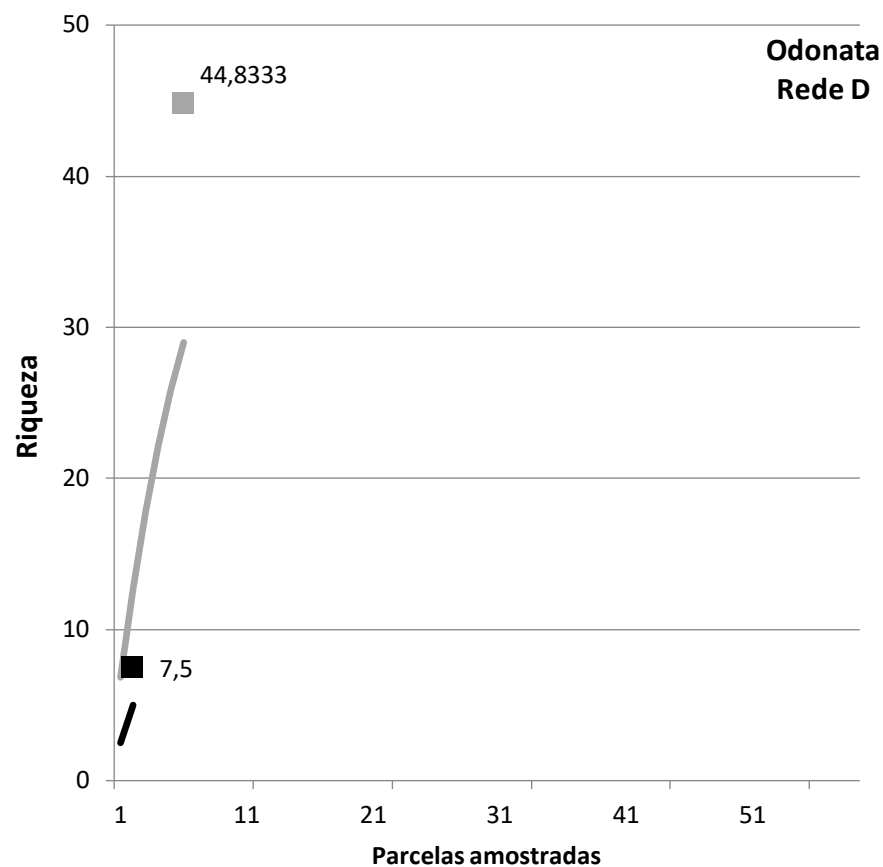


Gráfico 6. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D* e *Puçá* para os Odonata coletados no BA1b durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

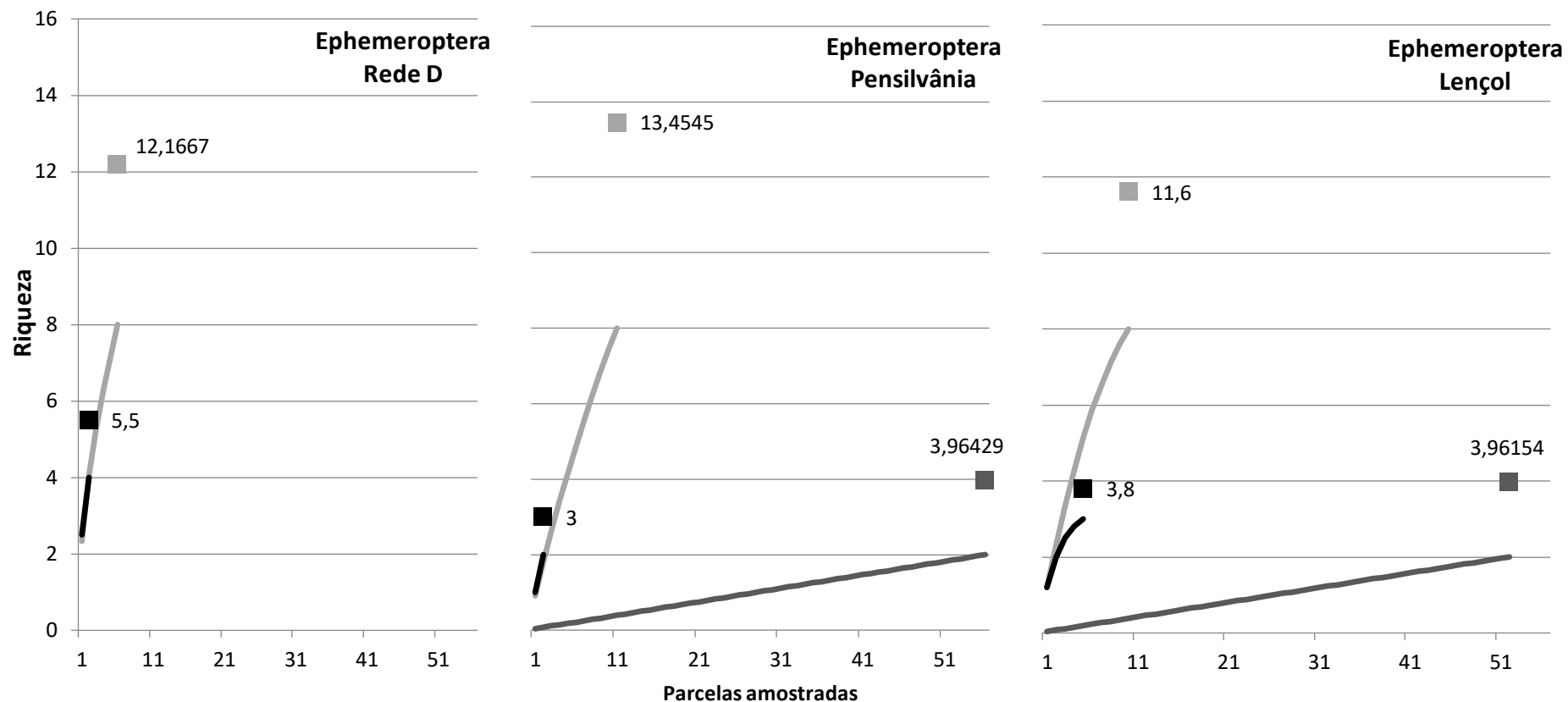


Gráfico 7. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Ephemeroptera coletados no BA1b durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

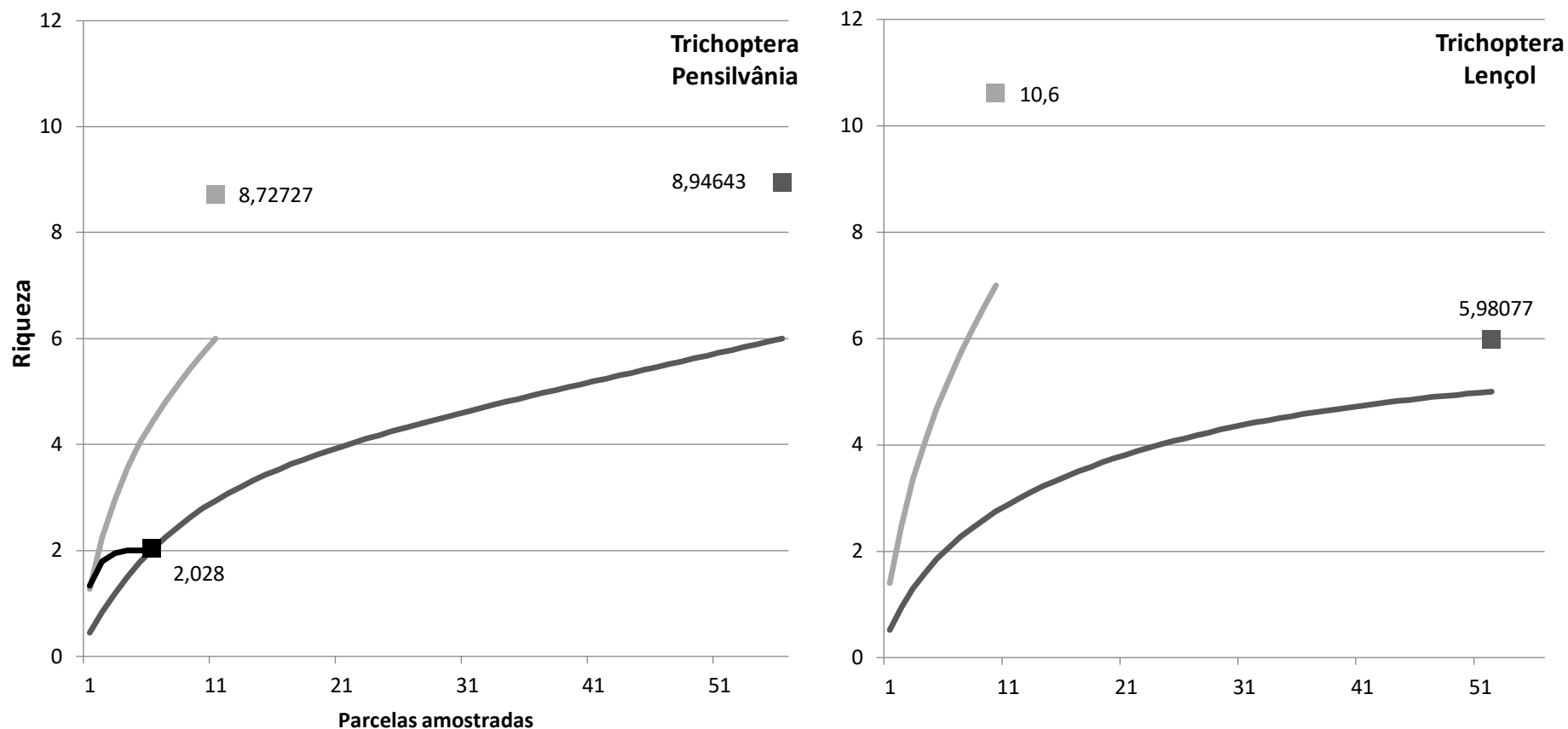


Gráfico 8. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Pensilvânia* e *Lençol* para os Trichoptera coletados no BA1b durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método de coleta *Rede D*, devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

3.1.4.2.2. Bloco Amostral 2 – FESD

Odonata. Capturamos 37 espécimes, de 20 espécies e 5 famílias (**APÊNDICE 20**), correspondendo a 2,5%, 11,11% e 9,17% das espécies de Odonata conhecidas para o Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Metade das espécies coletadas (e.g., *Acanthagrion aepiolum*, *Gynacantha chelifera*, *Brachymesia herbida*, *Erythemis vesiculosa*) não apresentavam registros para a **BHRD** até o presente estudo.

A riqueza e a abundância foram maiores em ambas *Parcelas Terrestres* ($S = 5$, $N = 5$) e *Ripárias* ($S = 17$, $N = 30$) durante a estação chuvosa que na estação seca ($S = 0$, $N = 0$ para as *Parcelas Terrestres*; $S = 2$, $N = 2$ *Ripárias*; **Quadro 19**). Resultado similar foi encontrado para a Diversidade, maiores na estação chuvosa ($H' = 1,609$ *Terrestres*; $H' = 2,691$ *Ripárias*) que na estação seca ($H' = 0$ *Terrestres*; $H' = 0,693$ *Ripárias*; **Quadro 19**). *Erythemis peruviana* (**APÊNDICE 20**) e *Erythemis vesiculosa* foram as espécies mais abundantes ($N = 4$) e 9 espécies tiveram abundância 1, dentre elas *Heteragrion petiense*, *Perithemis mooma* e *Tamea binotata* (**APÊNDICE 20**). Todos os representantes de Odonata são predadoras generalistas, portanto são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) predador (P). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 7 (e.g., Coenagrionidae) e máximo de 8 (e.g., Aeshinidae; **APÊNDICE 19**).

Apenas *Heteragrion petiense* é considerada ameaçada de extinção, nacionalmente na categoria “em perigo” e como “vulnerável” em MG. A espécie também foi coletada no BA3 e BA4 (**APÊNDICE 20**). As curvas de acumulação de espécies de Odonata no BA2 e Abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para ambos os métodos de coleta – *rede D* e *puçá* (**Gráfico 9**).

Ephemeroptera. Capturamos 35 espécimes, de 10 espécies e 3 famílias (**APÊNDICE 20**), correspondendo a 2,9%, 11,1% e 18,2% das espécies de Ephemeroptera do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Das 10 espécies amostradas, apenas *Farrodes carioca* não havia sido registrado até o momento para a **BHRD**.

A riqueza e abundância foram maiores nas *Parcelas Ripárias*, tanto durante a estação seca ($S = 2$; $N = 4$) quanto na estação chuvosa ($S = 7$; $N = 30$), do que nas *Parcelas Terrestres* ($S = 1$, $N = 1$ seca; $S = 0$, $N = 0$ chuvosa; **Quadro 20**). O mesmo padrão foi encontrado a diversidade, maior nas *Parcelas Ripárias* ($H' = 0,6931$ seca; $H' = 1,487$ chuva) que nas *Parcelas Terrestres*, que tiveram índice nulos (**Quadro 20**). *Americabaetis alphas* (**APÊNDICE 20**) e a morfoespécie *Paracloeodes* sp. 3 foram as

mais abundantes (11 ind., cada). As espécies menos abundantes foram *Camelobaetidius billi*, *Campsurus truncatus*, *Farrodes carioca* e *Thraulodes* sp. 2, com apenas um exemplar cada (**APÊNDICE 20**).

As espécies registradas pertencem a três Grupos Funcionais Alimentares (GFA) distintos: coletor-apanhador (CA), raspador (R) e coletor-filtrador (CF). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Polymitarcyidae) e máximo de 8 (e.g., Leptophlebiidae; **APÊNDICE 19**). As curvas de acumulação de espécies de Ephemeroptera no BA2 e Abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para todos os métodos de coleta (**Gráfico 10**).

Trichoptera. Coletamos 137 indivíduos de 20 espécies e 5 famílias (**APÊNDICE 20**), correspondendo a 3,0%, 38,5% e 11,3% das espécies registradas para o Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Das espécies identificadas em nível específico ou em morfoespécie, nenhuma foi coletada em *Parcelas Terrestres*. As coletas realizadas nas *Parcelas Ripárias* durante a estação seca foram mais ricas e abundantes ($S = 16$, $N = 88$) que durante a estação chuvosa ($S = 4$, $N = 6$; **Quadro 21**). isto é, a diversidade também seguiu esse resultado ($H' = 2,342$ seca; $H' = 1,242$ chuvas; **Quadro 21**).

Hydroptilidae sp.1 e *Chimarra (Curgia) cultellata* foram as espécies mais abundantes (27 e 24 ind., respectivamente). Quatro espécies apresentaram abundância igual a 1, e.g., *Leptonema macacu* e *Nectopsyche* sp.1 (**APÊNDICE 20**). As espécies e morfoespécies de Trichoptera registradas são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) coletor-apanhador (CA), raspador (R), e coletor-filtrador (CF). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Hydropsychidae) e máximo de 10 (e.g., Odontoceridae; **APÊNDICE 19**). As curvas de acumulação de espécies de Trichoptera no BA2 e Abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para os métodos de coleta *Pensilvânia* e *Lençol* (**Gráfico 11**). Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método *rede D*, pois nenhum exemplar identificado em nível de espécie ou morfoespécie foi amostrado.

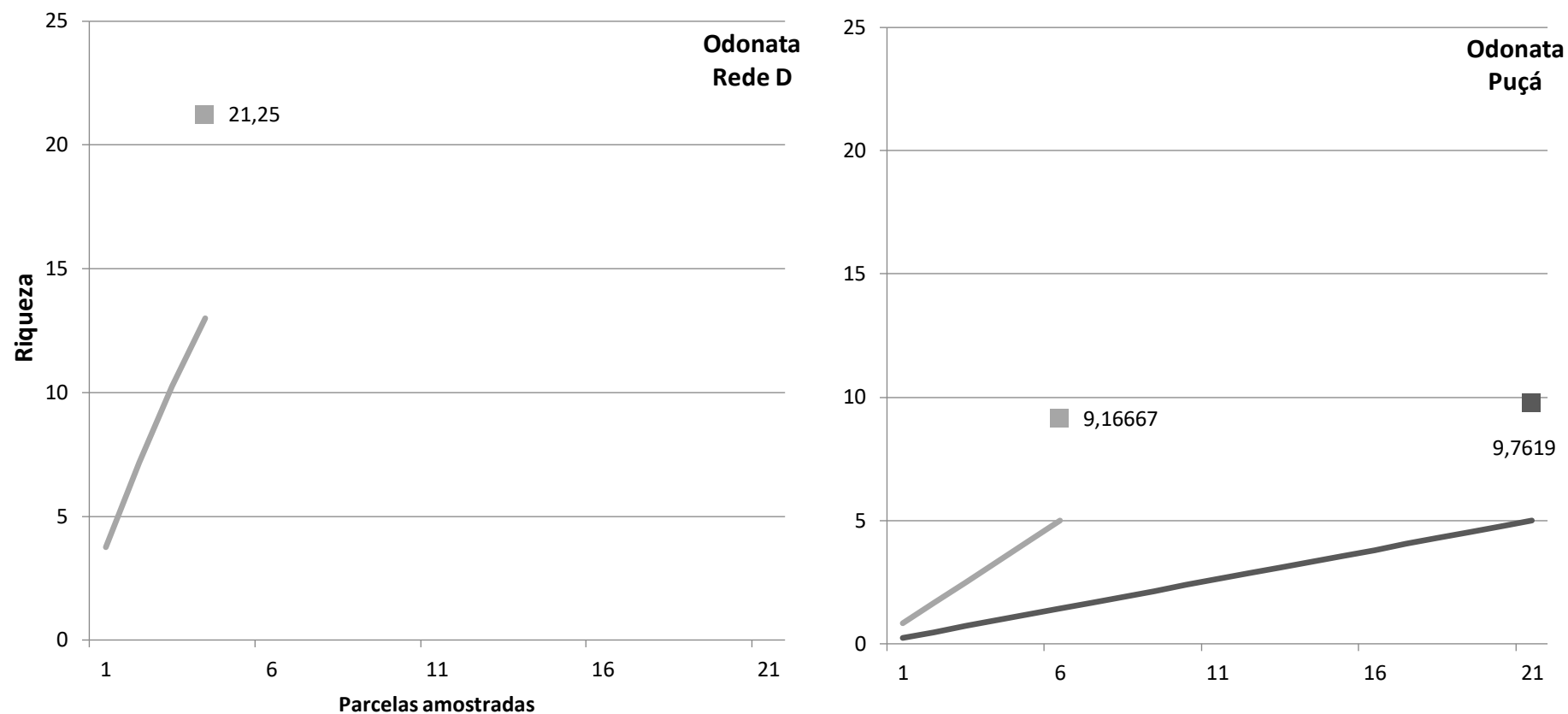


Gráfico 9. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D* e *Puçá* para os Odonata coletados no BA2 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

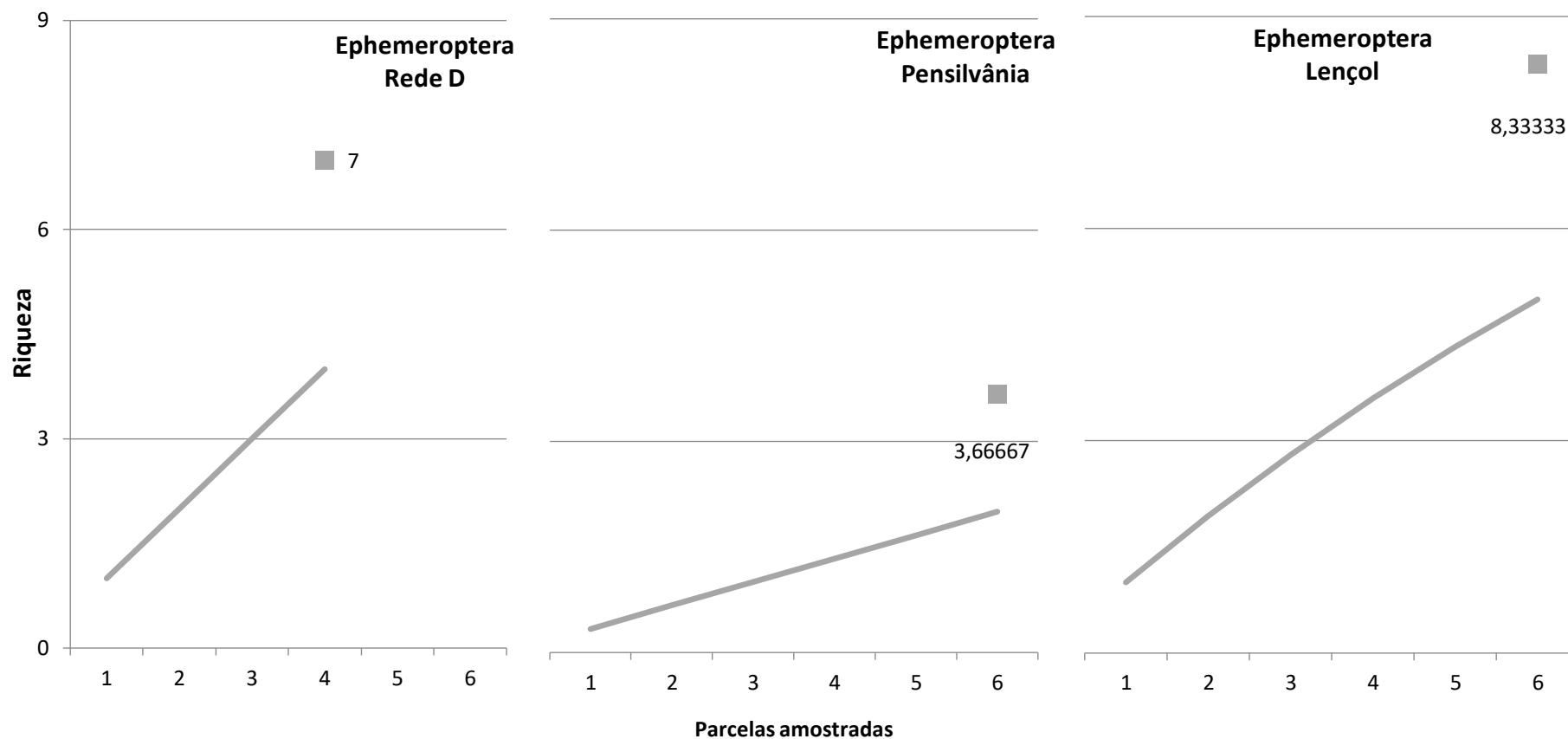


Gráfico 10. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Ephemeroptera coletados no BA2 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

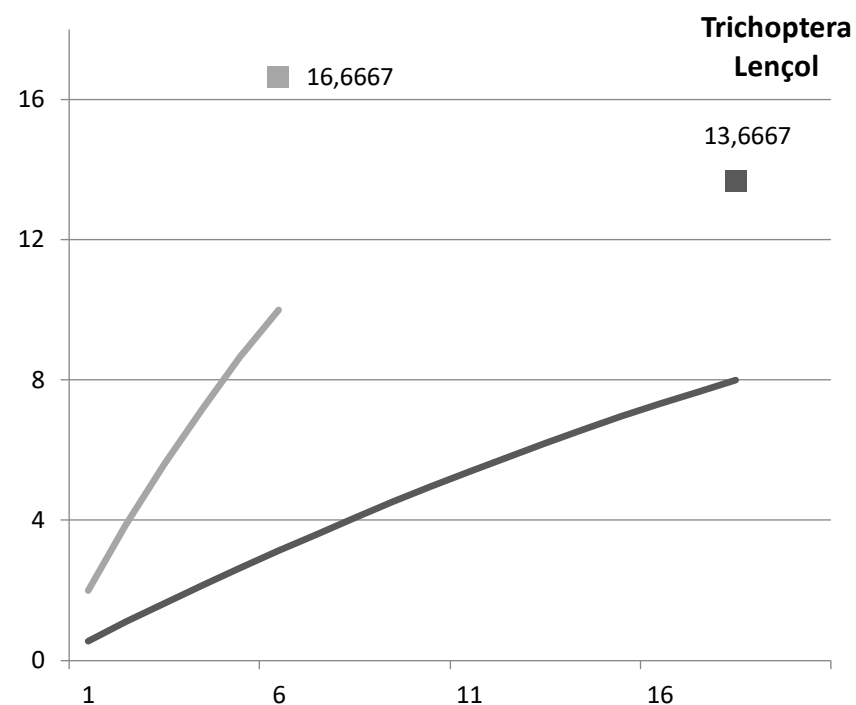
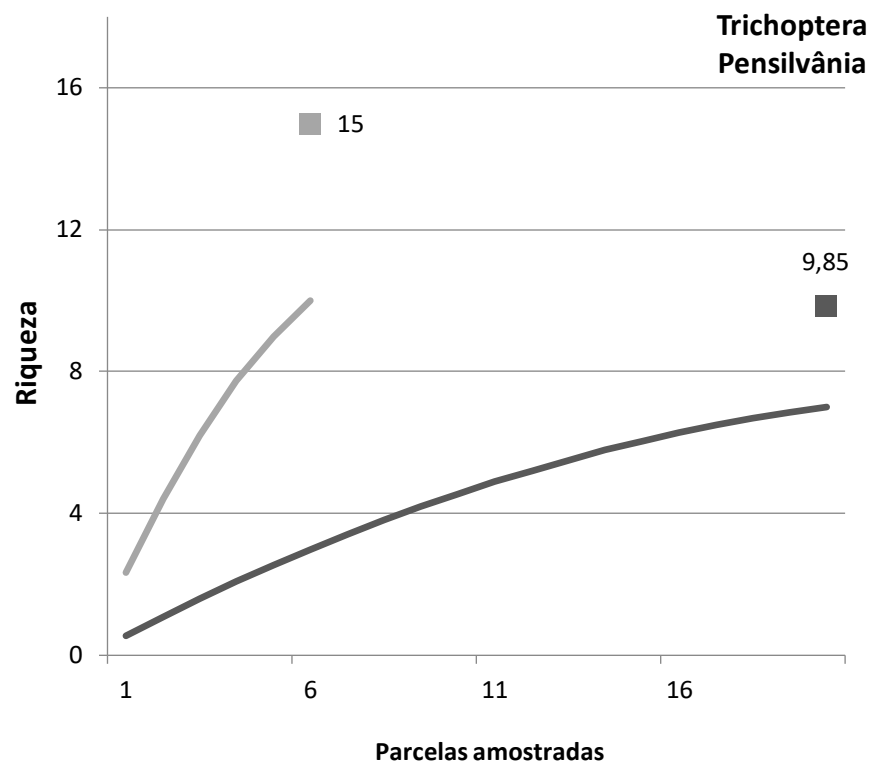


Gráfico 11. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Pensilvânia* e *Lençol* para os Trichoptera coletados no BA2 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para o método de coleta *Rede D*, devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

3.1.4.2.3. Bloco Amostral 3 – FESD

Odonata. Capturamos 555 espécimes, de 55 espécies e 8 famílias (**APÊNDICE 20**), correspondendo a 6,9%, 30,6% e 25,2% das espécies de Odonata do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Cerca de 65% das espécies coletadas (e.g., *Mecistogaster amalia*; **APÊNDICE 21**), *Lestes pictus*, *Heteragrion dorsale*, *Leptagrion dispar*) não apresentavam registros para a **BHrD** até o presente estudo. A riqueza e abundância foram maiores nas *Parcelas Ripárias*, tanto na estação seca ($S = 32$; $N = 231$) quanto na estação chuvosa ($S = 46$; $N = 212$), que nas *Parcelas Terrestres* ($S = 3$, $N = 5$ seca; $S = 8$, $N = 29$ chuvosa; **Quadro 19**). O mesmo padrão foi encontrado para a diversidade, maiores nas *Parcelas Ripárias* ($H' = 3,223$ seca; $H' = 3,624$ chuva), seguidos das *Ilhas* ($H' = 2,59$ na seca; $H' = 1,97$ na chuva) e das *Parcelas Terrestres* ($H' = 1,055$ seca; $H' = 1,608$ chuva; **Quadro 19**).

Erythrodiplax umbrata e *Hetaerina rosea* foram as espécies mais abundantes ($N = 36$, $N = 32$, respectivamente) e 5 espécies tiveram abundância 1, dentre elas *Planiplax phoenicura*, *Mecistogaster amalia* e *Lestes pictus* (**APÊNDICE 20**). Todos os Odonata são predadores generalistas, portanto são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) predador (P). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 7 (e.g., Protoneuridae) e máximo de 8 (e.g., Calopterygidae; **APÊNDICE 19**). Quatro espécies estão ameaçadas de extinção: *Mecistogaster pronoti*, *Castoraeshna januarina*, *Heteragrion petiense* e *Helveciagrion obsoletum*. *Mecistogaster pronoti* é classificada como “criticamente em perigo” pela IUCN, no Brasil e ES (ELLENRIEDER, 2015) e na **Área de Estudo** foram coletados apenas 2 exemplares no módulo 20T (Parque Estadual do Rio Doce). *Castoraeshna januarina* é considerada “vulnerável” no Brasil, e na **Área de Estudo** também foram coletados no BA1a e BA1b. *Heteragrion petiense* está classificada como “em perigo” no Brasil e como “vulnerável” em MG. Na **Área de Estudo**, espécimes foram coletados também no BA2 e BA4. *Helveciagrion obsoletum* é considerada “em perigo” em MG (COPAM, 2010), sendo restrita ao BA3 (**APÊNDICE 20**). As curvas de acumulação de espécies de Odonata no BA3 e Abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para ambos os métodos de coleta – rede D e puçá (**Gráfico 12**).

Ephemeroptera. Capturamos 7.387 espécimes, de 47 espécies e 6 famílias (**APÊNDICE 20**), correspondente a 13,8%, 52,2% e 85,5% das espécies de Ephemeroptera do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Das 47 espécies amostradas, 12 (e.g., *Tortopsis canum*, *Paramaka convexa* e *Traverhyphes pirai*) não

havia sido registradas para a **BHRD**. A riqueza e abundância foram maiores nas *Parcelas Ripárias*, tanto na estação seca ($S = 35$; $N = 1.961$) quanto chuvosa ($S = 28$; $N = 5.354$), que nas *Ilhas* ($S = 10$, $N = 45$ seca; $S = 0$, $N = 0$ chuvas) e *Parcelas Terrestres* ($S = 1$, $N = 1$ seca; $S = 5$, $N = 26$ chuvas; **Quadro 20**). A diversidade foi maior na estação seca ($H' = 1,999$ em *Ilhas*; $H' = 1,895$ nas *Parcelas Ripárias*; $H' = 0$ nas *Parcelas Terrestres*) em relação à estação chuvosa ($H' = 1,391$ *Ripárias*; $H' = 1,309$ *Terrestres*; $H' = 0$ *Ilhas*; **Quadro 20**). *Traverhyphes* (*Mocoihyphes*) *yuati* e *Farrodes carioca* foram as espécies mais abundantes (2.902 e 2.864 ind., respectivamente). Sete espécies, dentre elas *Cloeodes irvingi* e *Macunahyphes australis*, foram representados por apenas um exemplar (**APÊNDICE 20**). Apenas neste BA registramos uma espécie de Oligoneuriidae, *Homoeoneuria* (*Homoeoneuria*) *watu*. Quatro indivíduos foram coletados na localidade-tipo, no Ribeirão Belém no PERD (**APÊNDICE 20**).

As espécies registradas pertencem a três Grupos Funcionais Alimentares (GFA): coletor-apanhador (CA), raspador (R), coletor-filtrador (CF) e filtrador (F). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Baetidae) e máximo de 8 (e.g., Leptophlebiidae; **APÊNDICE 19**). As curvas de acumulação de espécies de Ephemeroptera no BA3 e Abordagens (PT, PR, I) foram ascendentes, sem estabilização, para todos os métodos de coleta (**Gráfico 13**; **APÊNDICE 20**).

Trichoptera. Coletamos 3.072 indivíduos, de 21 espécies e 5 famílias (**APÊNDICE 20**) correspondendo a 3,2%, 40,4% e 11,9% das espécies do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Dentre as espécies identificadas em nível específico ou em morfoespécie, nenhuma foi coletada em *Parcelas Terrestres*. As coletas realizadas nas *Parcelas Ripárias* tiveram uma maior riqueza e abundância ($S = 15$, $N = 2218$ seca; $S = 20$, $N = 751$ chuva) que nas *Ilhas* ($S = 6$, $N = 19$ seca; $S = 0$, $N = 0$ chuva; **Quadro 21**). A diversidade nas *Parcelas Ripárias* foi maior ($H' = 2,258$ chuva; $H' = 1,624$ seca) que nas *Ilhas* ($H' = 1,309$ seca; $H' = 0$ chuva; **Quadro 21**). *Chimarra* (*Curgia*) *cultellata* e *Smicridea* (*Ryacophylax*) sp.2 foram as espécies mais abundantes (1.124 e 732 ind., respectivamente), *Marília* sp.2 e *Marília* sp.3 foram as menos abundantes (2 e 4 ind., respectivamente; **APÊNDICE 20**). As espécies registradas são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) coletor-apanhador (CA), raspador (R), e coletor-filtrador (CF). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Hydropsychidae) e máximo de 8 (e.g., Philopotamidae; **APÊNDICE 19**). As curvas de acumulação de espécies de Trichoptera no BA3 e Abordagens (PT, PR, I), foram ascendentes, sem estabilização, para todos os métodos de coleta (**Gráfico 14**).

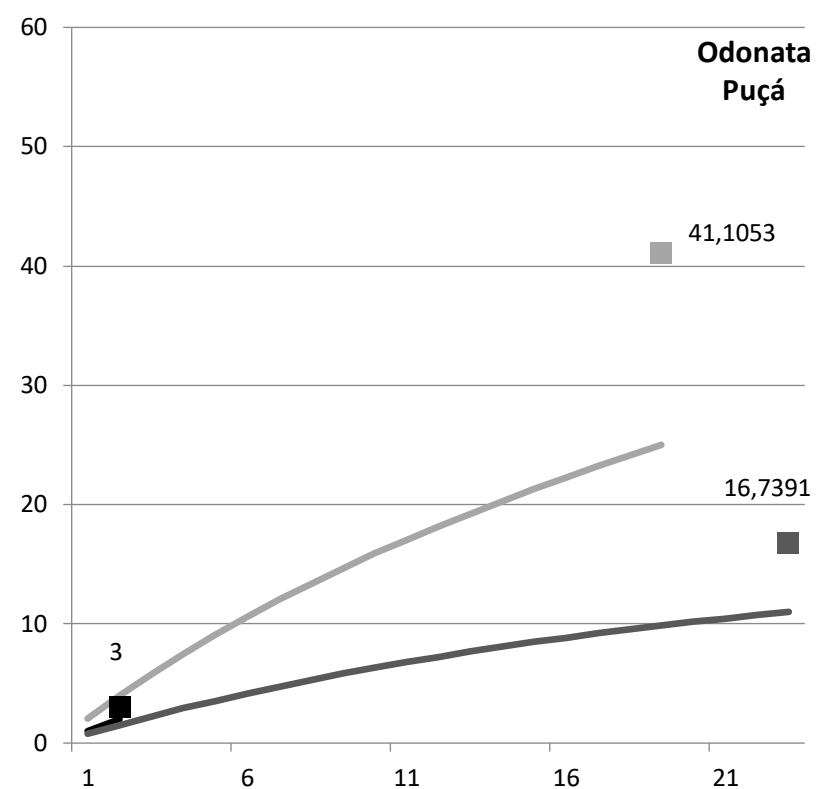
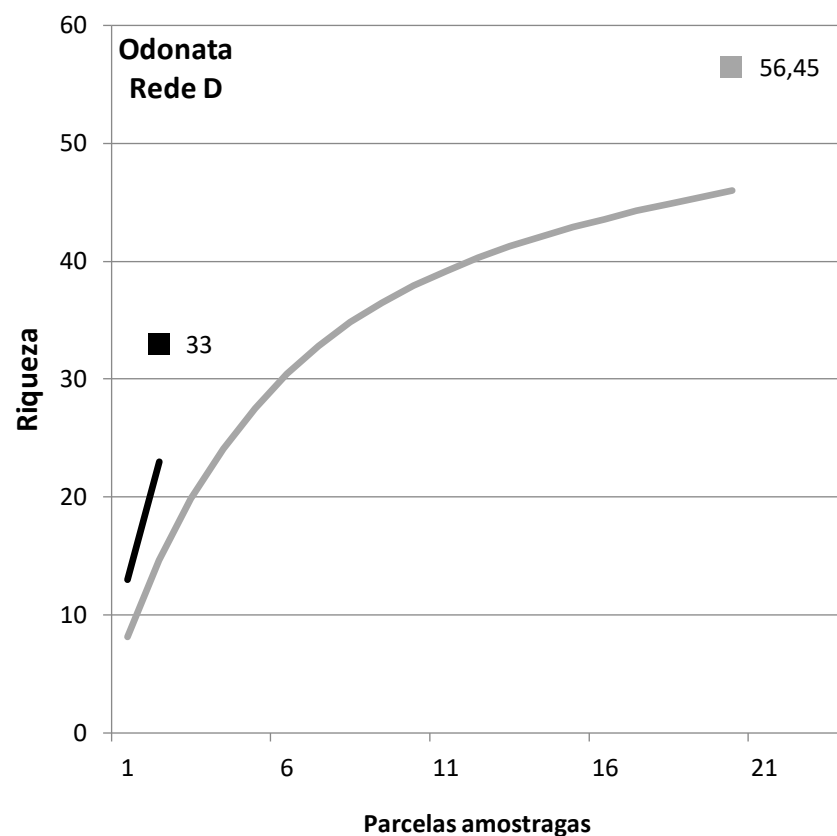


Gráfico 12. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D* e *Puçá* para os Odonata coletados no BA3 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

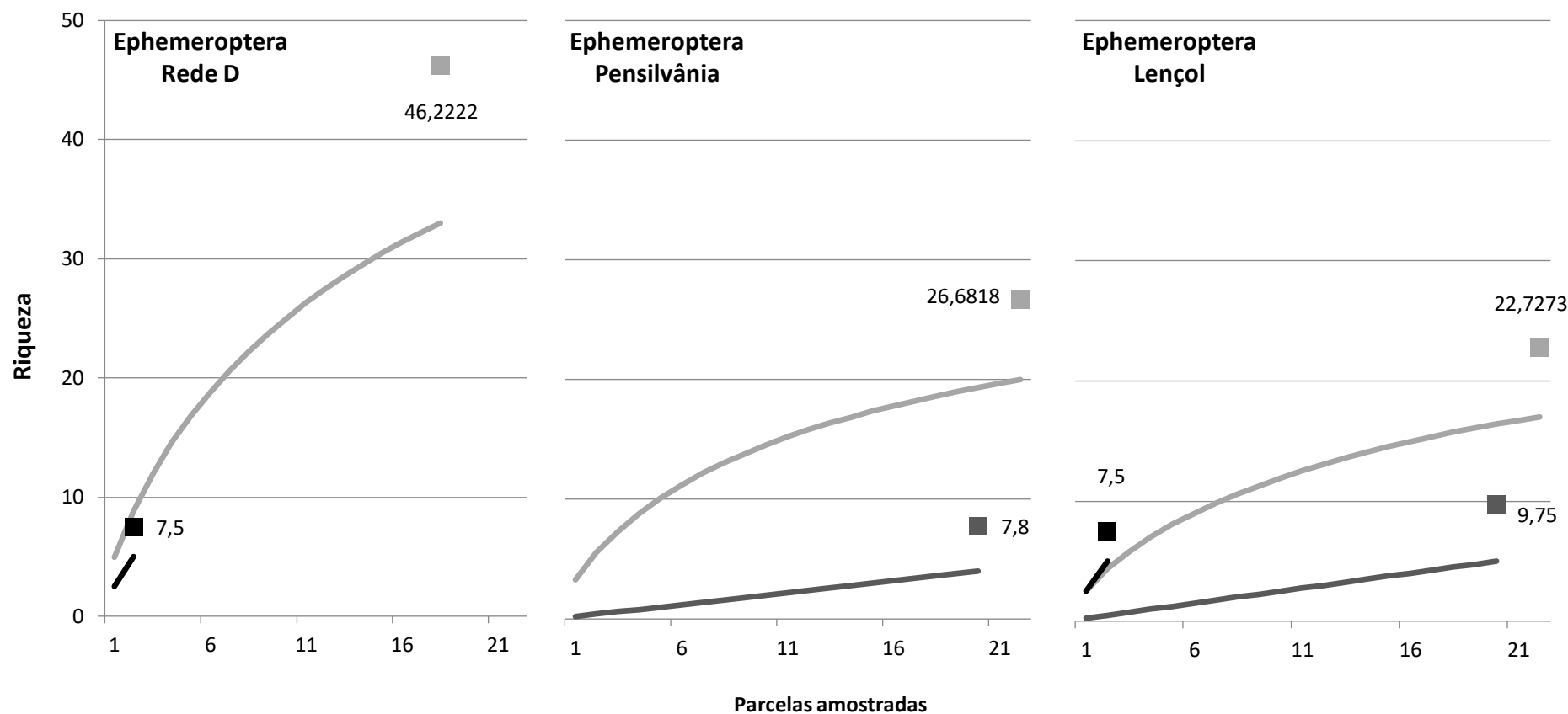


Gráfico 13. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Ephemeroptera coletados no BA3 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

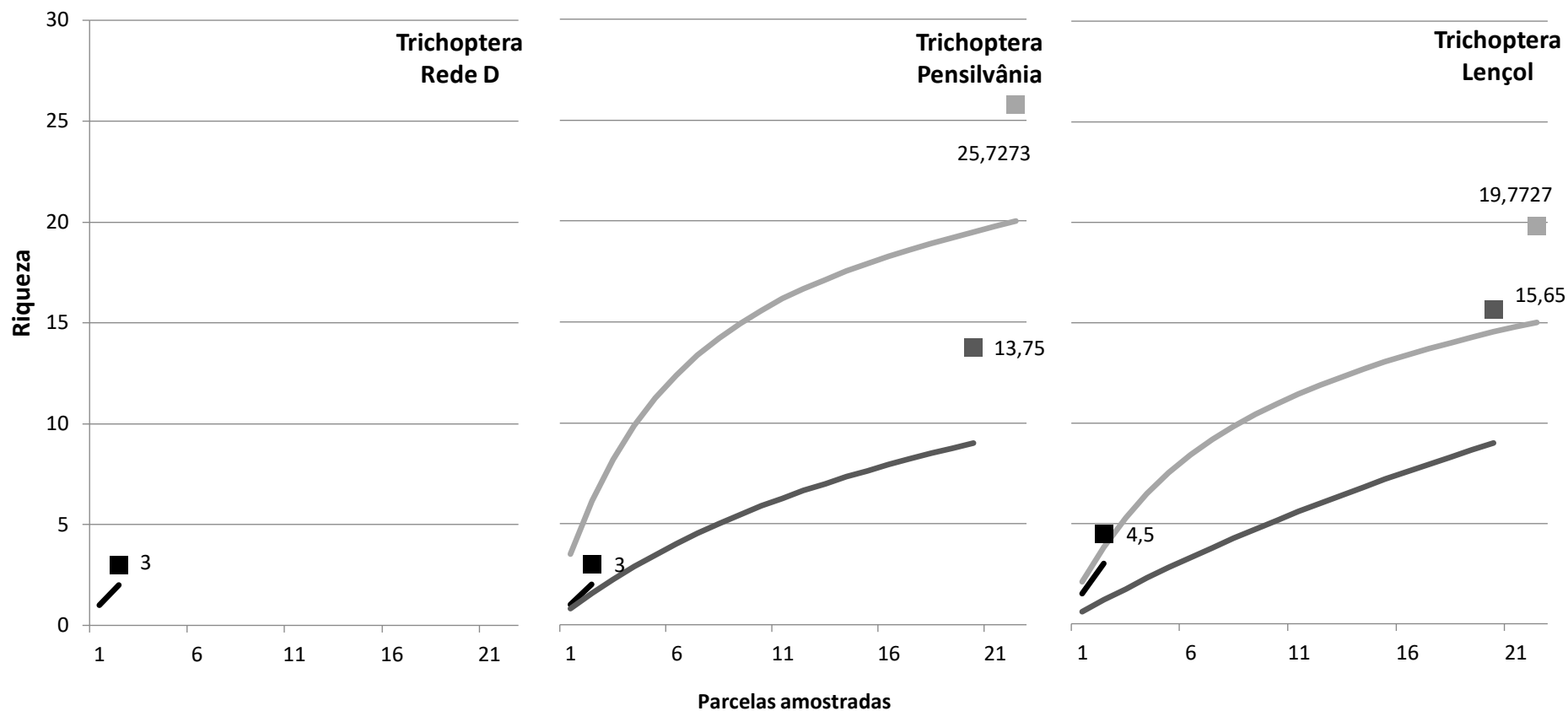


Gráfico 14. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Trichoptera coletados no BA3 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; valores em preto – parcelas em ilhas; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

3.1.4.2.4. Bloco Amostral 4 – FESD

Odonata. Capturamos 63 espécimes, de 29 espécies e 6 famílias (**APÊNDICE 20**) correspondente a 3,6%, 16,1% e 13,3% das espécies de Odonata do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Cerca de 60% das espécies coletadas (e.g., *Gomphoides infumata*, *Heteragrion aurantiacum*, *Oxyagrion terminale*, *Ischnura capreolus*) não apresentavam registros para a **BHrD** até o presente estudo.

Apesar do esforço amostral na estação seca, nenhum exemplar de Odonata foi coletado. Na estação chuvosa, a riqueza e abundância foram maiores nas *Parcelas Ripárias* ($S = 28$, $N = 60$) que nas *Parcelas Terrestres* ($S = 3$, $N = 3$; **Quadro 19**). Resultado similar foi encontrado para a diversidade, que apresentou valor maior nas *Parcelas Ripárias* ($H' = 3,154$) do que nas *Parcelas Terrestres* ($H' = 1,099$; **Quadro 19**).

Erythemis vesiculosa e *Idiataphe amazonica* foram as espécies mais abundantes ($N = 6$, $N = 5$, respectivamente) e 13 espécies tiveram abundância 1, dentre elas *Heteragrion petiense*, *Telebasis demarara* e *Tramea binotata* (**APÊNDICE 21**). Todos os Odonata são predadoras generalistas. As espécies registradas são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) predador (P). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 7 (e.g., Coenagrionidae) e máximo de 10 (e.g., Oligoneuriidae; **APÊNDICE 20**).

Duas espécies coletadas estão ameaçadas: *Heteragrion petiense* e *Idiogomphoides ictinia*. A primeira é classificada como “em perigo” no Brasil e como “vulnerável” em MG. A espécie também foi registrada no BA3 e BA4. *Idiogomphoides ictinia* apresenta o status de “criticamente em perigo” no ES e na **Área de Estudo** também foi coletada no BA1 e BA3 (**APÊNDICE 20**). As curvas de acumulação de espécies de Odonata no BA4 e Abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para ambos os métodos de coleta – rede D e puçá (**Gráfico 15**).

Ephemeroptera. Capturamos 132 espécimes, de 11 espécies e 3 famílias durante a estação chuvosa no BA4 (**APÊNDICE 20**). A coleta na estação seca não foi possível pois a área estava interditada para adequações nas trilhas. A riqueza amostrada corresponde a 3,2%, 12,2% e 20% das espécies de Ephemeroptera do Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). Das 11 espécies amostradas, apenas *Ulmeritoides tamoio* não havia sido registrada para a **BHrD**.

As *Parcelas Ripárias* apresentaram uma maior riqueza e abundância ($S = 10$, $N = 118$) do que as *Parcelas Terrestres* ($S = 2$, $N = 14$). Da mesma forma, a diversidade foi maior

nas *Parcelas Ripárias* ($H' = 1,49$) do que nas *Parcelas Terrestres* ($H' = 0,2573$; **Quadro 20**). *Campsurus truncatus* e *Ulmeritoides tamoi* foram as espécies que apresentaram as maiores abundâncias, com 63 e 36 indivíduos, respectivamente. Cinco espécies foram representadas por apenas um indivíduo, dentre elas estão *Leentvaaria palpalis* e *Zelusia deceptiva* (**APÊNDICE 21**).

As espécies registradas pertencem a quatro Grupos Funcionais Alimentares (GFA): coletor-apanhador (CA), raspador (R), coletor-filtrador (CF) e filtrador (F). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Polymitarcyidae) e máximo de 8 (e.g., Leptophlebiidae; **APÊNDICE 20**). As curvas de acumulação de espécies de Ephemeroptera do BA4 em suas diferentes abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para todos os métodos de coleta (**Gráfico 16**).

Trichoptera. Coletamos 69 indivíduos, de 6 espécies e 4 famílias (**APÊNDICE 20**), correspondente a 0,9%, 11,5% e 3,4% das espécies registradas para o Brasil, ES e MG, respectivamente (**Quadro 18**). A coleta na estação seca não foi possível pois a área estava interditada para adequações nas trilhas. Nenhuma espécie foi coletada em *Parcelas Terrestres* durante a estação chuvosa. Foram coletados 63 exemplares pertencentes a 6 espécies nas *Parcelas Ripárias* durante a estação chuvosa. O índice de diversidade de Shannon foi de 1,102 (**Quadro 21**).

As morfoespécies *Smicridea* (*Smicridea*) sp.3 e *Smicridea* sp.4 foram as mais abundantes (34 e 28 ind., respectivamente). Por outro lado, *Chimarra* (*Curgia*) *cultellata* e *Nectopsyche* sp.5 foram as menos abundantes, 1 espécime cada (**APÊNDICE 19**). As espécies registradas são do Grupo Funcional Alimentar (GFA) coletor-apanhador (CA), raspador (R), e coletor-filtrador (CF). O índice BMWP registrou um escore mínimo foi de 5 (e.g., Hydropsychidae) e máximo de 8 (e.g., Philopotamidae; **APÊNDICE 20**). As curvas de acumulação de espécies de Trichoptera no BA4 e Abordagens (PT, PR, I), demonstraram comportamento ascendente, sem estabilização, para o método de coleta *Pensilvânia* (**Gráfico 17**). Não foi possível gerar a curva de rarefação para os métodos de coleta *rede D* e *Lençol*, pois nenhum exemplar identificado em nível de espécie ou morfoespécie foi amostrado através destes métodos.

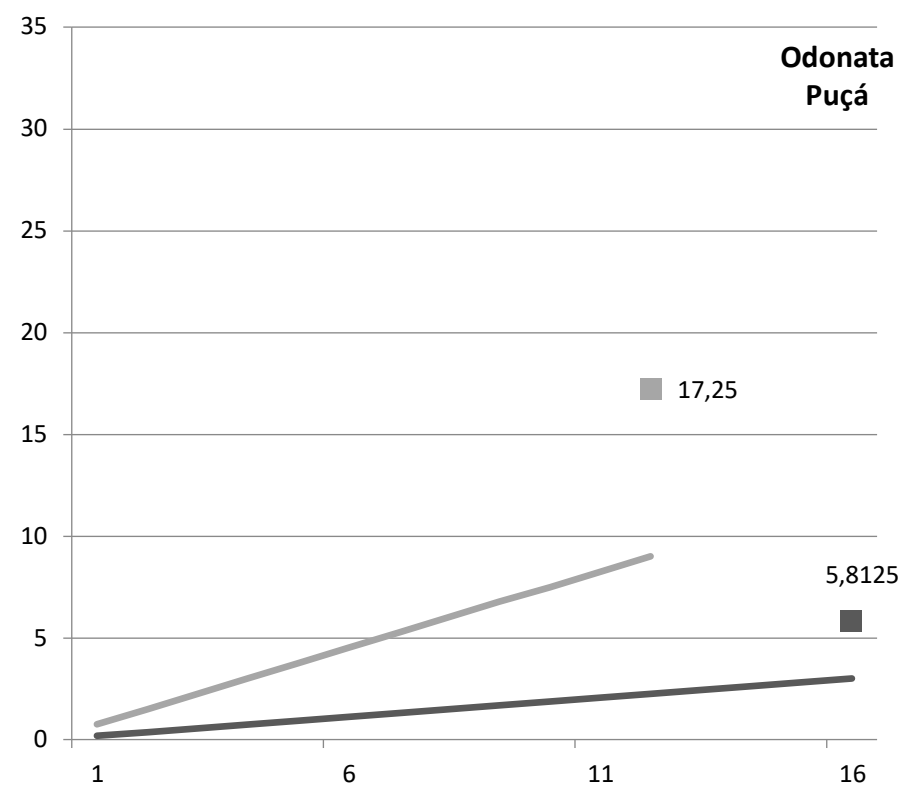
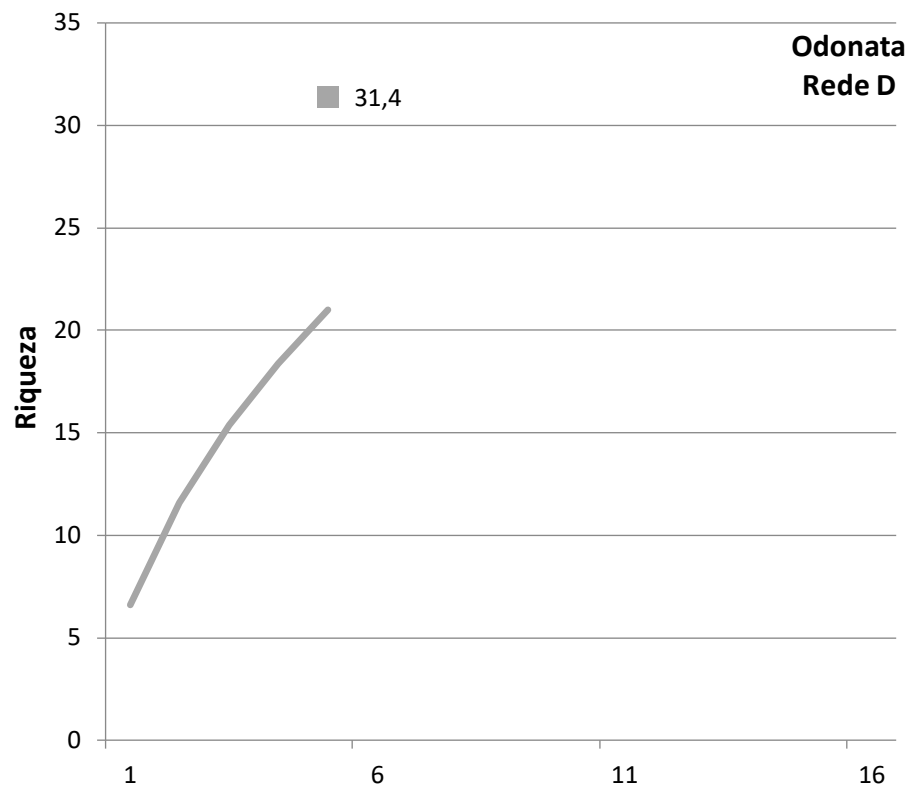


Gráfico 15. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D* e *Puçá* para os Odonata coletados no BA4 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

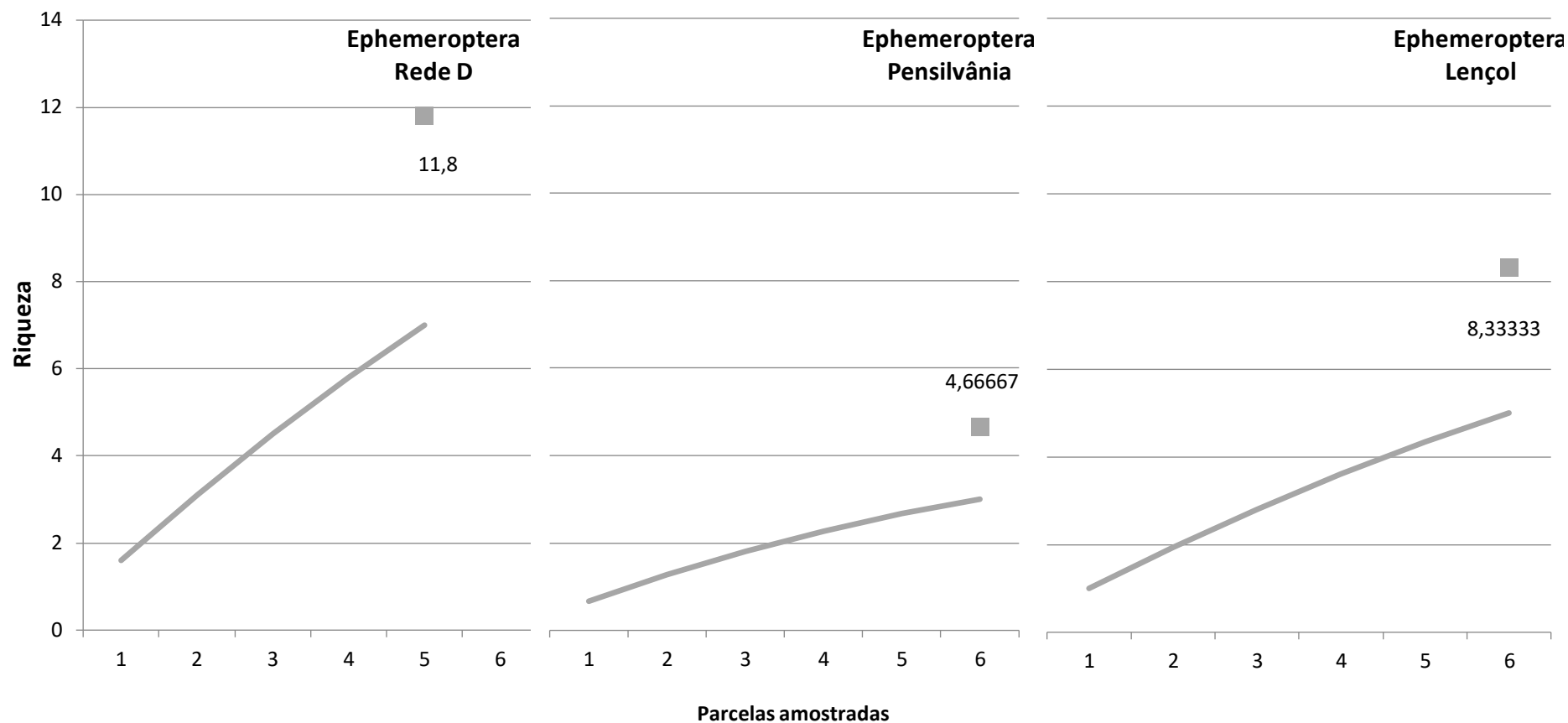


Gráfico 16. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coletas *Rede D*, *Pensilvânia* e *Lençol* para os Ephemeroptera coletados no BA4 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

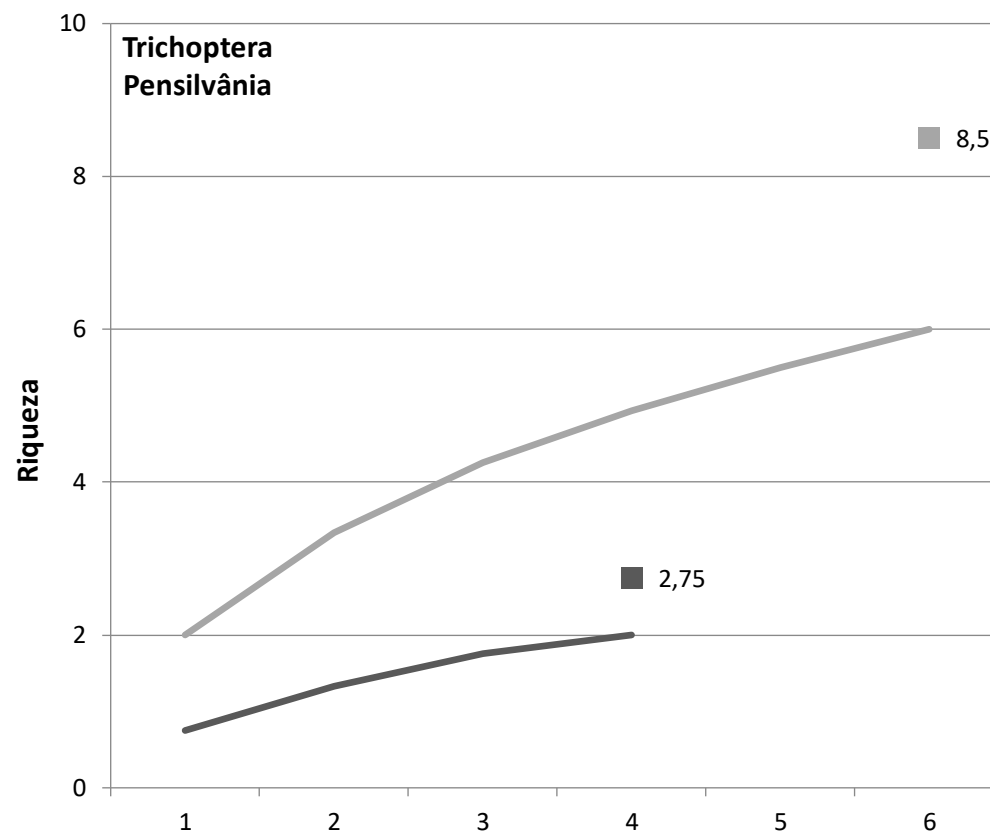


Gráfico 17. Curvas de rarefação (*Jackknife 1*) para os métodos de coleta *Pensilvânia* para os Trichoptera coletados no BA4 durante o primeiro ano de monitoramento do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Não foi possível gerar a curva de rarefação para *Rede D* e *Lençol*, devido ao baixo número de dados. Valores em cinza claro – *Parcelas Ripárias*; valores em cinza escuro – *Parcelas Terrestres*; linhas – riqueza observada; ícones quadrados – riqueza estimada.

3.1.4.3. Comparação entre os Blocos Amostrais e Abordagens

Odonata. A riqueza e a abundância de Odonata foram maiores no BA3, independente da estação do ano, com 35 e 50 espécies e 279 e 276 indivíduos registrados nas estações seca e chuvosa, respectivamente (**Gráfico 18; Gráfico 19; APÊNDICE 20**). É importante destacar a elevada riqueza e abundância coletada nas parcelas localizadas no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), que registrou ca. 80% das espécies ($S = 43$) e metade da abundância ($N = 288$; **APÊNDICE 21**). As maiores riquezas e abundâncias (**Gráfico 20; Quadro 19**) foram registradas, em ordem decrescente, para as *Parcelas Ripárias*, *Parcelas Terrestres* e de *Ilhas*, independente da estação do ano. Os maiores índices de Diversidade ocorreram nas *Parcelas Ripárias*, coletadas na estação chuvosa, do BA3 ($H' = 3,624$), seguido das *Parcelas Ripárias* da estação seca para o mesmo BA ($H' = 3,223$; **Quadro 19**).

Três espécies de Odonata (*Hetaerina rosea*, *Erythrodiplax castanea* e *Tramea binotata*) tiveram uma distribuição ampla na **Área de Estudo**, e foram coletadas em todos os BA (**APÊNDICE 20**). Quatorze espécies foram coletadas exclusivamente em apenas um BA, sendo oito no BA3, 3 no BA1b, 2 no BA4 e 1 no BA2. Duas espécies dentre as oito encontradas exclusivamente no BA3 foram coletadas apenas no PERD – *Heteragrion dorsale* e *Mecistogaster pronoti* (**APÊNDICE 20**). Das cinco espécies de Odonata, coletadas na **Área de Estudo** e que estão ameaçadas de extinção, quatro estão presentes no BA3 – *C. januaria*, *H. petiense*, *H. obsoletum* e *M. pronoti* (20T TP, 20T 1P; **APÊNDICE 20; APÊNDICE 21**). *Mecistogaster pronoti* é endêmica do Brasil e é conhecida apenas pelo exemplar-tipo fêmea coletado no ES (localidade desconhecida). Os imaturos do gênero são coletados em ocos de árvores e foi observado que as fêmeas ovipõem nesses mesmos ambientes. Pelo fato de *M. pronoti* ser restrita à Mata Atlântica e que esta vem sofrendo uma enorme perda de habitat, concluiu-se que a sua população se encontra severamente fragmentada. Além disso, não existem registros da espécie nos últimos 97 anos, portanto, a espécie foi classificada como “criticamente em perigo” nas listas vermelhas de espécies da IUCN (ELLENRIEDER, 2015), do Brasil (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018) e no ES é considerada como provavelmente extinta.

Ephemeroptera. A riqueza de Ephemeroptera foi maior no BA3, com 39 e 28 espécies coletadas nas estações seca e chuvosa, respectivamente (**Gráfico 18, APÊNDICE 20**). A abundância foi maior na estação chuvosa no BA3 e BA1a, com respectivamente 5.380 e 2.400 indivíduos coletados (**Gráfico 19**). No geral, que as maiores riquezas e

abundâncias foram registradas, em ordem decrescente, para as *Parcelas Ripárias*, de *Ilhas* e *Parcelas Terrestres*, independente da estação do ano (**Gráfico 21**). Os maiores índices de Diversidade ocorreram nas parcelas de *Ilhas* (BA3, estação seca, $H' = 1,999$), seguidas das *Parcelas Ripárias* do BA3 ($H' = 1,895$, estação seca) e do BA4 ($H' = 1,49$, estação chuvosa; **Quadro 20**). Nenhum Ephemeroptera ocorreu em todos os BA, porém 7 espécies foram coletadas em pelo menos 3 dos 5 BA – *A. alphas*, *A. beatrixae*, *C. aymore*, *C. fiitkai*, *T. yuati*, *F. carioca* e *C. truncatus*. A maioria das espécies (40 de 61) registradas até o momento para a **Área de Estudo**, foram coletadas exclusivamente em apenas um BA, sendo 29 exclusivas do BA3, 5 do BA4, 4 do BA2 e 2 do BA1b. O PERD é o principal responsável pelo grande número de espécies exclusivas no BA3, pois das 29 espécies exclusivas, 12 foram encontrados somente no parque (**APÊNDICE 20**).

Trichoptera. A maior riqueza de Trichoptera ocorreu no BA3 na estação chuvosa e o BA2 na estação seca, com 21 e 18 espécies, respectivamente (**Gráfico 18**; **APÊNDICE 20**). A maior riqueza ocorreu nas estações seca e chuva do BA3, com 2.277 e 795 indivíduos, respectivamente (**Gráfico 19**), e em ordem decrescente, independente da estação do ano, para as *Parcelas Ripárias*, de *Ilhas* e *Parcelas Terrestres* (**Gráfico 22**). Entre todas as abordagens, as maiores diversidades ocorreram nas *Parcelas Ripárias* do BA3 ($H' = 2,258$, estação chuvosa), seguido do BA2 ($H' = 2,342$, estação seca) e BA1b ($H' = 1,505$, estação seca; **Quadro 21**).

Duas espécies de Trichoptera — *Smicridea* (*Smicridea*) sp.3 e Hydroptilidae sp.1 — apresentaram uma distribuição ampla na **Área de Estudo**, sendo encontradas em todos os BA (**APÊNDICE 21**). A morfoespécie *Leptonema* spn. 1 foi coletada apenas no BA3, enquanto *Leptonema* spn.2, *Smicridea* (*Ryacophylax*) sp.6, *Chimarra* sp.1, *Marília* sp.1, *Marília* sp.2 e *Marília* sp.3 foram coletadas somente no BA2.

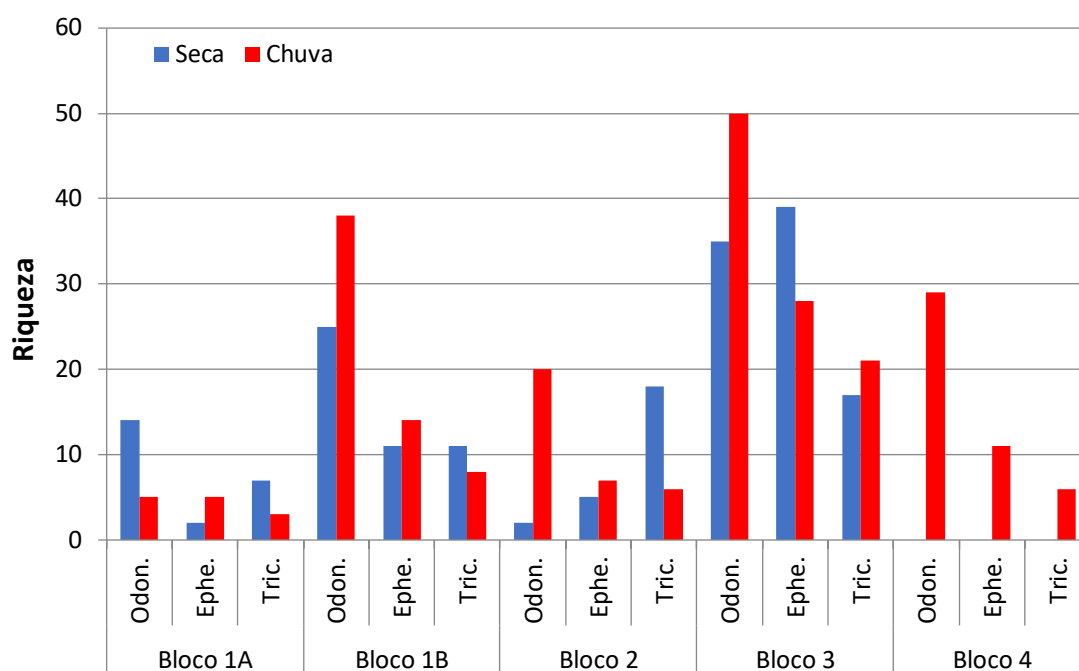


Gráfico 18. Riqueza de Odonata (Odon.), Ephemeroptera (Ephe.) e Trichoptera (Tric.) encontrada nos BA durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

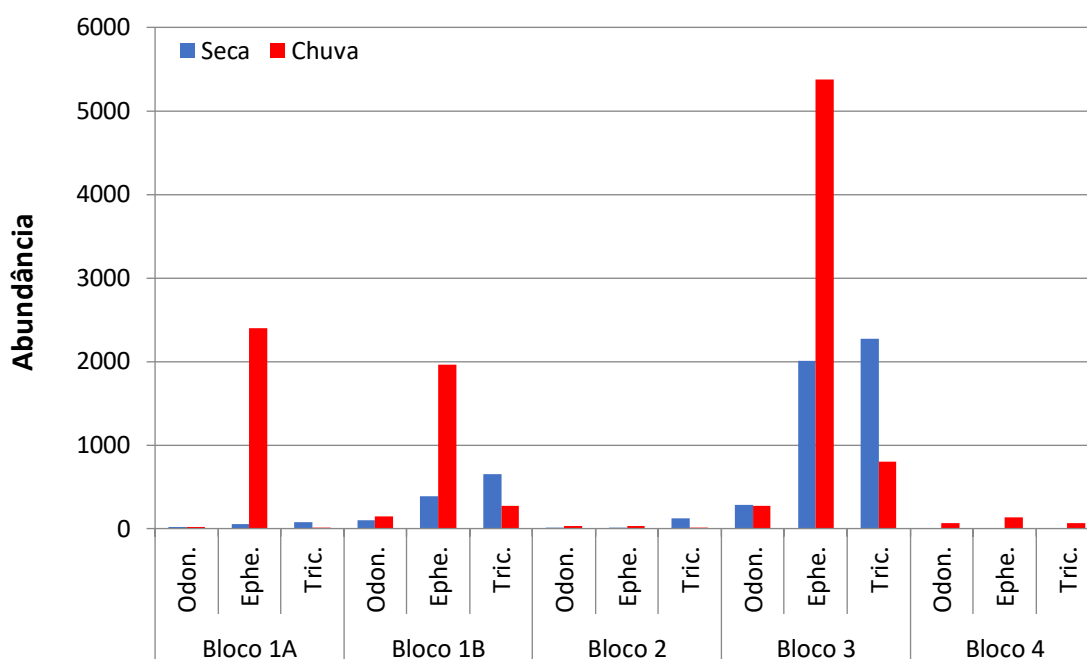


Gráfico 19. Abundância de Odonata (Odon.), Ephemeroptera (Ephe.) e Trichoptera (Tric.) encontrada nos BA durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

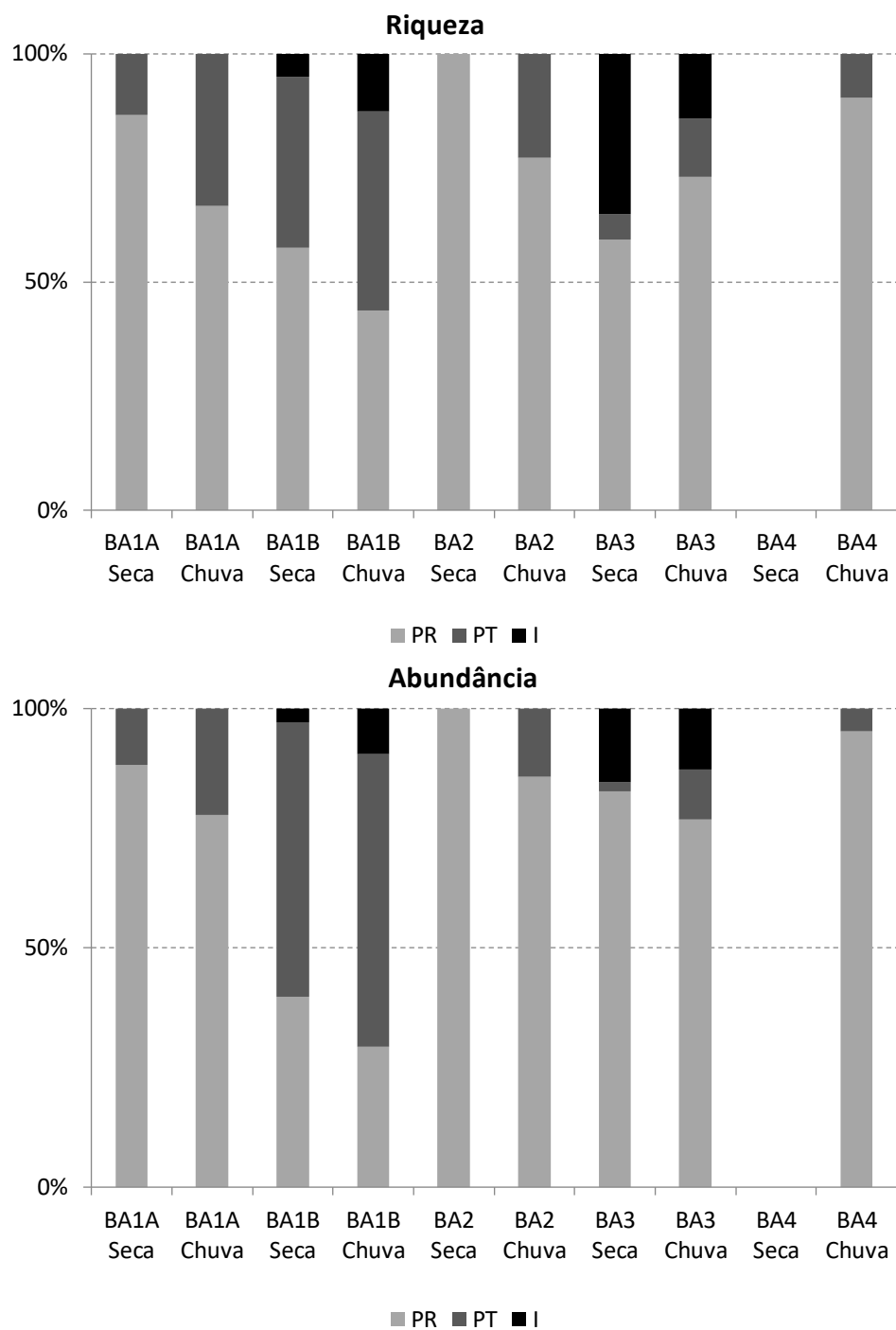


Gráfico 20. Riqueza e abundância de Odonata encontrada nos BA e respectivas abordagens (PT = *Parcelas Terrestres*, PR = *Parcelas Ripárias*, I = *Ilhas*) durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

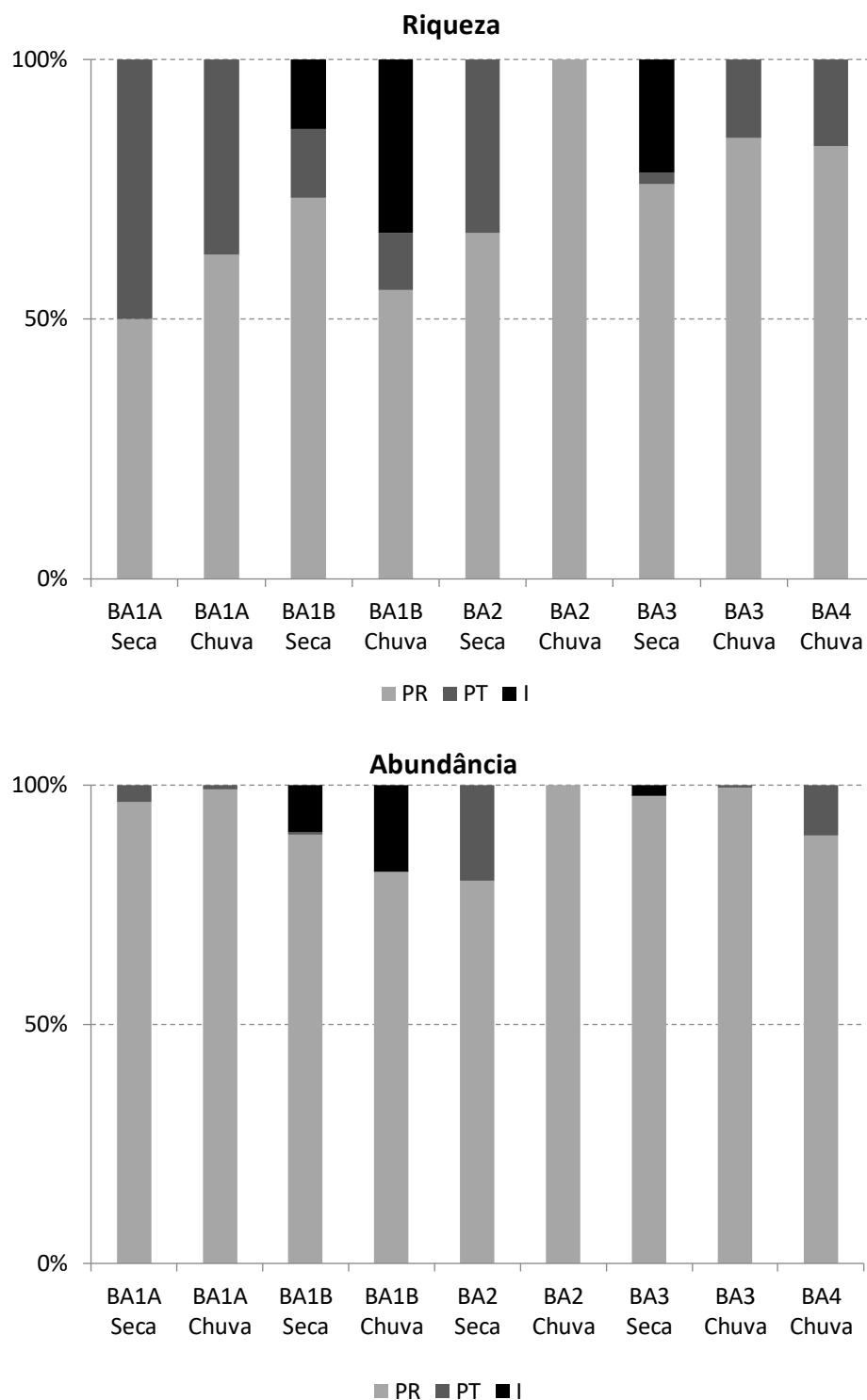


Gráfico 21. Riqueza e Abundância de Ephemeroptera encontrada nos BA e respectivas abordagens (PT = *Parcelas Terrestres*, PR = *Parcelas Ripárias*, I = *Ilhas*) durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

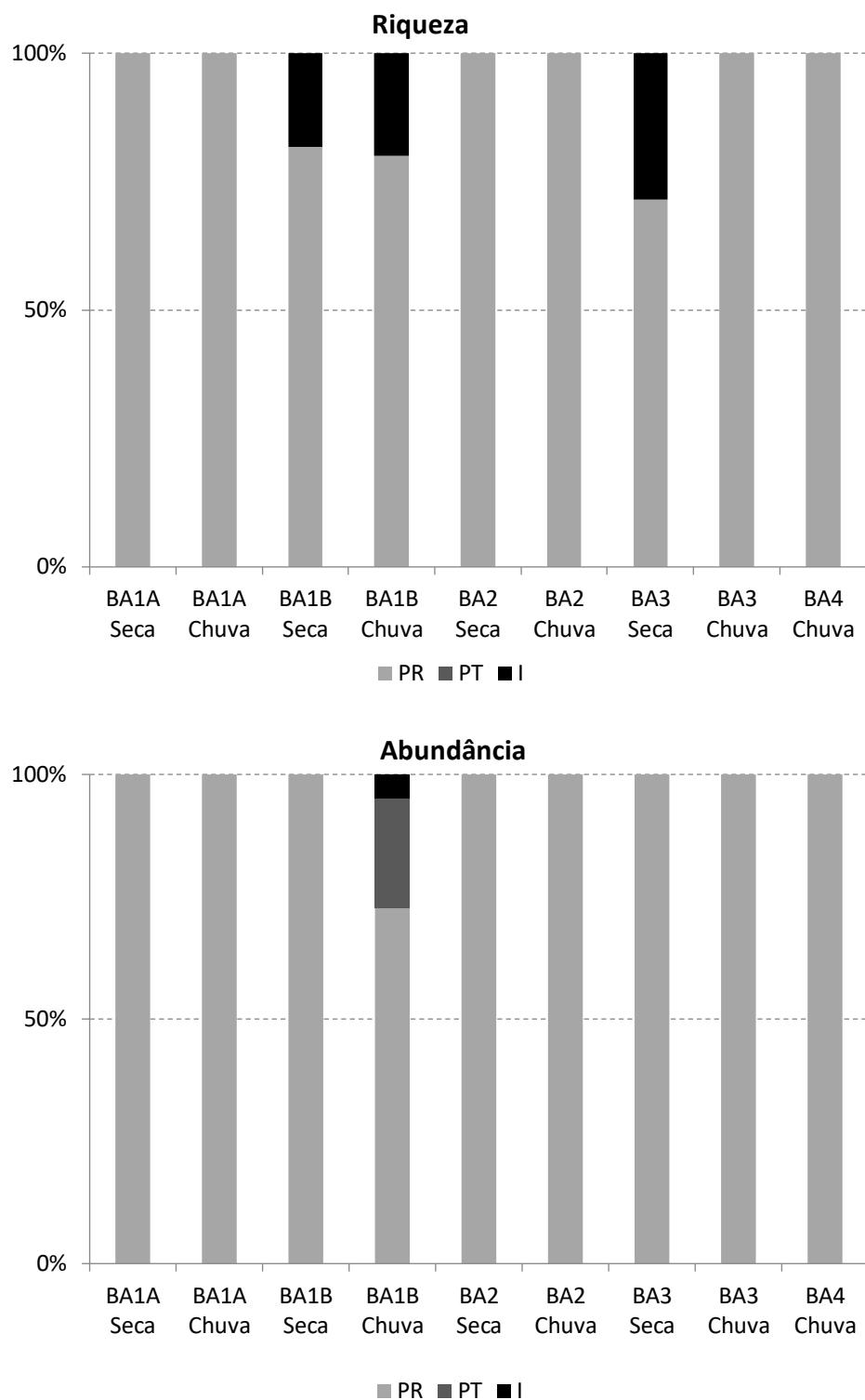


Gráfico 22. Riqueza e abundância de Trichoptera encontrada nos Blocos Amostrais e respectivas abordagens (PT = *Parcelas Terrestres*, PR = *Parcelas Ripárias*, I = *Ilhas*) durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.1.4.3.1.1. Táxons de interesse para a conservação

Dividimos em três grupos principais os táxons de interesse para conservação: 1) espécies ameaçadas de extinção; 2) espécies potencialmente novas para a ciência; e 3) espécies estritamente dependentes da qualidade dos sedimentos do leito do rio.

Cinco espécies de Odonata ameaçadas de extinção foram coletadas na **Área de Estudo** – *C. januaria*, *H. petiense*, *H. obsoletum*, *I. ictinia* e *M. pronoti*. Dentre estas espécies as que possuem a distribuição mais limitada são *H. obsoletum* e *M. pronoti*, restritas às parcelas PC1Pr e 20T (TP, 1P), e representadas por apenas 2 exemplares cada. *Helveciagrion obsoletum* está inclusa na lista de espécies ameaçadas de extinção de MG, enquanto *M. pronoti* está na lista mundial, nacional, e no ES, é considerada como provavelmente extinta. Estas espécies são ameaçadas principalmente devido à perda de habitat e poluição dos corpos d'água.

Registramos ao menos duas espécies potencialmente novas de Trichoptera e três espécies novas de Ephemeroptera. Ambas as espécies de Trichoptera pertencem ao gênero *Leptonema*. Este gênero apresenta a taxonomia bem conhecida e são amplamente distribuídos na região Neotropical. As espécies deste gênero são relativamente grandes entre os representantes da Ordem e tem hábitos crepusculares ou diurnos (FLINT, 2008). O reconhecimento destas espécies novas demonstra que uma análise taxonômica mais profunda com revisões sistemáticas teria como resultado muitas outras novas espécies de Trichoptera pertencentes a gêneros de menor tamanho e taxonomia menos conhecida. As espécies novas de Ephemeroptera pertencem a três famílias distintas – Baetidae (*Apobaetis* aff. *lakota*), Polymitarcyidae (*Campsurus* aff. *evanidus*) e Leptophlebiidae (*Thraulodes* sp.1). *Apobaetis* aff. *lakota* e *Campsurus* aff. *evanidus* foram coletadas no leito principal do rio Doce, nas parcelas PS2Pr e 9I1P, respectivamente. Cabe destacar que a espécie nova de *Apobaetis* já havia sido registrada por FRANCISCHETTI (2007) em sua tese de doutorado, através de uma única ninfa do Rio Sacramento (Bom Jesus do Galho), próximo ao encontro com o rio Doce, porém ela ainda não foi descrita. Já *Thraulodes* sp.1, coletado no Parque Estadual do Rio Doce, encontra-se em processo de descrição (FRANCISCHETTI, comunicação pessoal).

Apesar de não haver espécies de Ephemeroptera e Trichoptera listadas como ameaçadas de extinção até momento, muitas delas são estritamente relacionadas com a qualidade dos sedimentos do leito do rio, o que as tornam alvo de interesse para

conservação. Muitas espécies da família Hydropsychidae (Trichoptera), que habitam a calha do rio e constroem seus abrigos nos sedimentos (WATER; CONTROL, 1983; OLIVEIRA; FROEHLICH, 1996), provavelmente sofreram com o impacto do rompimento da barragem e podem até terem sido extintas localmente. Além destas, muitas espécies de Leptohyphidae, Leptophlebiidae e Polymitarcyidae (Ephemeroptera), que utilizam os recursos do sedimento para alimentação e abrigo (DOMÍNGUEZ et al., 2006), possivelmente também sofreram com o rompimento da barragem de Fundão. FOSSATI et al. (2001) avaliaram o impacto da entrada de sedimentos autóctones nos ambientes aquáticos e demonstraram que os Ephemeroptera (principalmente os da família Leptohyphidae e Leptophlebiidae) estão entre os organismos mais afetados e, portanto, são potenciais indicadores para este tipo de impacto. O aumento de sedimento fino em suspensão no leito dos rios ocasiona seu assoreamento, diminuição da diversidade de habitats e microhabitats e eutrofização artificial (enriquecimento por aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio), levando a uma diminuição da diversidade (CALLISTO; MORETII; GOULART, 2001; GOULART; CALLISTO, 2003). Por fim, a recolonização através de estoques populacionais mantidos nos tributários é provável, mas a perda de diversidade genética nas populações do Rio Doce é irreparável.

3.1.4.4. Sucesso de captura

O sucesso amostral variou de acordo com cada método empregado em campo: foi maior na estação chuvosa do que na seca para as coletas com armadilha *Pensilvânia*, lençol branco e *puçá*, porém o inverso ocorreu para as coletas com *rede D* (**Quadro 22**). Esse resultado pode ser reflexo da dificuldade de se acessar os substratos dos corpos d'água para a coleta de imaturos durante a estação chuvosa.

A utilização de diferentes métodos de coleta é importante para uma amostragem mais completa da riqueza de insetos aquáticos. Em corpos d'água de menor ordem existe maior riqueza de habitats e maior facilidade de se coletar os imaturos do que nos rios de grande porte, como é o caso do rio Doce. Além disso, algumas espécies habitam o fundo dos rios de grande porte e possuem o hábito escavador (e.g., Polymitarcyidae, Ephemeroptera; *Synoesropsis*, Hydropsychidae, Trichoptera), portanto sua coleta na forma imatura é difícil, mas sua captura através de armadilhas de luz é facilitada. Além disso, há peculiaridades taxonômica de alguns grupos, que só são identificáveis por ninfas, enquanto que outros só através dos adultos.

Quadro 22. Esforço e sucesso amostral realizado para captura de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Esforço	Tempo	Parcelas amostradas		Esforço amostral		Nº espécimes		Sucesso amostral (densidade)	
		S	C	S	C	S	C	S	C
~5 m ² / parcela ripária, ilha	-	17	22	~85 m ²	~110 m ²	1178	991	13,8 ind.*m ⁻²	9,0 ind.*m ⁻²
<i>Pensilvânia</i>	1 noite	90	81	90 arm.*n	81 arm.*n	3647	9343	40,5 ind.*arm ⁻¹	115,3 ind.*arm ⁻¹
<i>Lençol branco</i>	1 hora	88	73	88 arm.*h	73 arm.*h	2813	4071	31,9 ind.*h ⁻¹	55,8 ind.*h ⁻¹
<i>Puçá</i> parcelas/trilhas	Ida e volta	105	82	~220 Km	~175 Km	87	310	0,39 ind.*km ⁻¹	1,77 ind.*km ⁻¹

Legenda: arm.*n – armadilhas*noites; arm.*h – armadilhas*hora; ind.*arm. – indivíduos*armadilhas; ind.*h – indivíduos*hora; ind.*km – indivíduos*quilômetros

3.1.4.5. Modelos Lineares Generalizados (GLM)

As análises da relação entre a distância do rio Doce e a riqueza de espécies, feitas usando Modelos Lineares Generalizados (GLM) revelaram que a riqueza de espécies de Odonata das *Parcelas Ripárias* do BA1a e BA3 (estação seca) foi positivamente influenciada pela distância do rio Doce (**Quadro 23; Gráfico 23A**). Já a riqueza de espécies de Ephemeroptera das *Parcelas Ripárias* do BA3 (estação seca) aumentou significativamente com o aumento da distância do rio Doce (**Quadro 23; Gráfico 23B**), enquanto o inverso ocorreu para as *Parcelas Ripárias* no BA4 (estação chuvosa; **Quadro 23; Gráfico 23C**). Para os Trichoptera ocorreu uma diminuição significativa da riqueza de espécies com o distanciamento do rio Doce para as *Parcelas Ripárias* do BA4 (estação chuvosa; **Quadro 23; Gráfico 23D**).

Quadro 23. Análises de GLM (Modelos Lineares Generalizados) predizendo a riqueza de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera, em função da distância do rio Doce, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Os dados foram analisados em função do BA, estação climática (S = seca; C=chuva) e Abordagem de amostragem (PT - *Parcelas Terrestres*; PR - *Parcelas Ripárias*). Em vermelho relações significativas; em laranja as tendências.

Bloco Amostral	Estação	Abordagem	Estimativa	z	p
Odonata					
Intercepto			1,0386	8,6470	<0,0001
1a	C	PT	-0,0496	-0,4820	0,6300
1a	S	PT	-0,1150	-1,4160	0,1570
1b	C	PT	-0,0626	-0,6980	0,4850
1b	S	PT	-0,1301	-1,2540	0,2100
2	C	PT	-0,2509	-1,0600	0,2890
2	S	PT	NA	NA	NA
3	C	PT	-0,0347	-0,0750	0,9400
3	S	PT	-0,3935	-1,1660	0,2430
4	C	PT	-0,0852	-0,4740	0,6360
4	S	PT	NA	NA	NA
Intercepto			181,2630	19,6700	<0,0001
1a	C	PR	-0,0789	-0,8390	0,4017
1a	S	PR	0,1392	2,5740	0,01*
1b	C	PR	0,1225	1,2800	0,2004
1b	S	PR	0,1036	1,1620	0,2454
2	C	PR	-0,0190	-0,1460	0,8839
2	S	PR	-0,3524	-1,5700	0,1164
3	C	PR	0,1113	1,9040	0,0569
3	S	PR	0,2189	4,7200	<0,0001*
4	C	PR	0,0506	0,5440	0,5863
4	S	PR	N/A	N/A	N/A
Ephemeroptera					
Intercepto			0,2334	0,5790	0,5628
1a	C	PT	-0,0128	-0,2190	0,8267
1a	S	PT	-0,0184	-0,2160	0,8286
1b	C	PT	-0,0952	-0,2450	0,8065
1b	S	PT	-10,1147	-0,2160	0,8286
2	C	PT	NA	NA	NA
2	S	PT	-0,3211	-0,2160	0,8286
3	C	PT	0,2297	1,7380	0,0822
3	S	PT	-0,0526	-0,2160	0,8286
4	C	PT	-0,0587	-0,2160	0,8286
4	S	PT	NA	NA	NA
Intercepto			1,632,825	15,5300	<0,0001
1a	C	PR	-0,0043	-0,0510	0,9594
1a	S	PR	-0,3022	-1,6240	0,1044
1b	C	PR	-0,0540	-0,4150	0,6783

Bloco Amostral	Estação	Abordagem	Estimativa	z	p
1b	S	PR	-0,1126	-0,8980	0,3690
2	C	PR	-0,4460	-1,5850	0,1129
2	S	PR	-0,3102	-1,3140	0,1887
3	C	PR	0,0865	1,3760	0,1688
3	S	PR	0,2517	4,9300	<0,0001
4	C	PR	-0,3008	-2,2680	0,0233*
4	S	PR	NA	NA	NA
Trichoptera					
Intercepto			0,5775	3,3300	0,0009
1a	C	PT	-0,0465	-0,5010	0,6166
1a	S	PT	-0,0026	-0,0670	0,9470
1b	C	PT	-0,2798	-0,9530	0,3404
1b	S	PT	-0,0465	-0,4090	0,6828
2	C	PT	-0,0927	-0,4950	0,6205
2	S	PT	0,1617	1,8320	0,0670
3	C	PT	-0,0164	-0,1520	0,8788
3	S	PT	0,0972	1,1230	0,2615
4	C	PT	-0,1512	-0,5970	0,5506
4	S	PT	NA	NA	NA
Intercepto			-	12,3600	<0,0001
1a	C	PR	-0,1347	-1,0160	0,3097
1a	S	PR	-0,0064	-0,0670	0,9462
1b	C	PR	-0,1161	-0,7430	0,4576
1b	S	PR	-0,0194	-0,1550	0,8768
2	C	PR	-0,1143	-0,0670	0,9462
2	S	PR	0,1430	1,1290	0,2590
3	C	PR	0,0960	1,3990	0,1617
3	S	PR	0,0140	0,1790	0,8583
4	C	PR	-0,2897	-2,0590	0,0395*
4	S	PR	NA	NA	NA

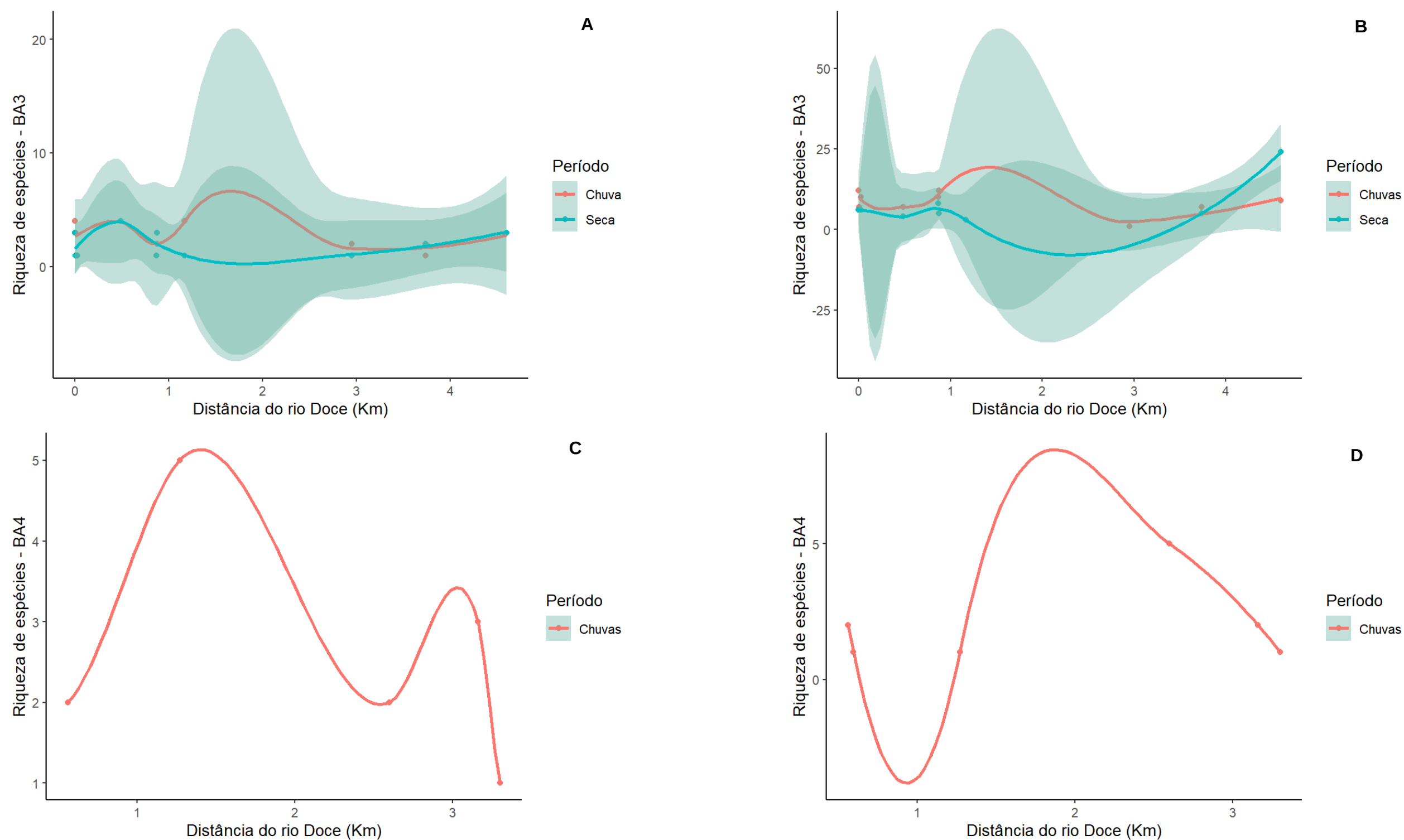


Gráfico 23. Relação entre a riqueza de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera registradas e a distância do rio Doce durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. **A.** Odonata, BA1a, *Parcelas Ripárias*, estação seca. **B.** Odonata, BA3, *Parcelas Ripárias*, seca. **C.** Ephemeroptera, BA3, *Parcelas Ripárias*, seca. **D.** Ephemeroptera, BA4, *Parcelas Ripárias*, chuvosa. **E.** Trichoptera, BA4, *Parcelas Ripárias*, chuvosa.

3.1.4.6. Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS)

Odonata. As comunidades de Odonata variaram no tempo, ou seja, existe uma diferença significativa entre a composição de espécies coletadas na estação seca e na estação chuvosa (**Gráfico 24A e B**). Levando em consideração a abordagem de *Parcelas Terrestres*, as variáveis ambientais que melhor explicaram os padrões de composição e abundância de Odonata no BA1b foram: distância da barragem de Fundão ($R^2 = 0,1240$; $p = 0,022$), *uso antrópico* ($R^2 = 0,1187$; $p = 0,03$) e *uso natural* ($R^2 = 0,1495$; $p = 0,018$; **Quadro 24; Gráfico 24A**). Já em relação às *Parcelas Terrestres* do BA3, a distância do município mais próximo ($R^2 = 0,9505$; $p = 0,001$), distância da barragem de Fundão ($R^2 = 0,6381$; $p = 0,04$), distância do rio Doce ($R^2 = 0,8397$; $p = 0,018$), *uso antrópico* ($R^2 = 0,8397$; $p = 0,014$), *uso aquático* ($R^2 = 0,8212$; $p = 0,046$), e *uso natural* ($R^2 = 0,9155$; $p = 0,011$; **Quadro 24; Gráfico 24B**) foram as variáveis ambientais que explicaram significativamente os padrões das comunidades de Odonata. Para os demais tratamentos, tanto de *Parcelas Terrestres* quanto de *Parcelas Ripárias*, nenhuma variável foi a responsável por explicar os padrões das comunidades de Odonata.

Ephemeroptera. As comunidades de Ephemeroptera foram semelhantes entre estação seca e chuvosa (**Gráfico 24C e D**). Quando consideradas somente as *Parcelas Terrestres*, nenhuma das variáveis ambientais foi capaz de explicar os padrões de composição e abundância de Ephemeroptera. Já para as *Parcelas Ripárias*, as variáveis que explicaram significativamente os padrões das comunidades de Ephemeroptera do BA1b foram a distância da barragem de Fundão ($R^2 = 0,8361$; $p = 0,007$), *uso antrópico* ($R^2 = 0,6017$; $p = 0,043$) e *uso natural* ($R^2 = 0,6687$; $p = 0,021$; **Quadro 24; Gráfico 24C**) e para o BA3 foram a distância da barragem de Fundão ($R^2 = 0,3919$; $p = 0,025$) e a distância da Unidade de Conservação mais próxima ($R^2 = 0,4807$; $p = 0,013$; **Quadro 24; Gráfico 24D**).

Trichoptera. As comunidades de Trichoptera não variaram entre estação seca e estação chuvosa (**Gráfico 25A-C**). A distância do rio Doce ($R^2 = 0,2491$; $p = 0,015$) e o *uso aquático* ($R^2 = 0,2817$; $p = 0,008$) foram as variáveis que explicaram significativamente os padrões das comunidades de Trichoptera nas *Parcelas Terrestres* do BA1b (**Quadro 24; Gráfico 25A**). Levando em consideração somente as *Parcelas Ripárias*, a variável que melhor explicou os padrões das comunidades de Trichoptera do BA1b foi a distância da Unidade de Conservação mais próxima ($R^2 = 0,6650$; $p =$

0,017; **Quadro 24; Gráfico 25B**) e para o BA3 foi o *uso aquático* ($R^2 = 0,4917$; $p = 0,003$; **Quadro 24; Gráfico 25C**).

Quadro 24. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera por BA e abordagens (*Parcelas Ripárias e Parcelas Terrestres*) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Valores em vermelho são estatisticamente significativos.

	BA1a		BA1b		BA2		BA3		BA4	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P	R ²	P
ODONATA - PT										
Dist. Município	1	1	0,027	0,530	1	1	0,951	0,001	-	-
Dist. Barragem	1	1	0,124	0,022	1	1	0,638	0,040	-	-
Dist. rio Doce	1	1	0,032	0,549	1	1	0,840	0,018	-	-
Dist. UC	1	1	0,028	0,583	1	1	0,620	0,151	-	-
<i>Uso antrópico</i>	1	1	0,119	0,030	1	1	0,840	0,014	-	-
<i>Uso aquático</i>	1	1	0,040	0,414	1	1	0,821	0,046	-	-
<i>Uso degradado</i>	0	1	0,094	0,177	1	1	0,151	0,763	-	-
<i>Uso natural</i>	1	1	0,149	0,018	1	1	0,916	0,011	-	-
ODONATA - PR										
Dist. Município	-	-	0,116	0,654	0,427	0,750	0,159	0,274	0,021	0,978
Dist. Barragem	-	-	0,370	0,146	0,400	0,750	0,076	0,554	0,329	0,542
Dist. rio Doce	-	-	0,435	0,095	0,213	1,000	0,008	0,920	0,594	0,248
Dist. UC	-	-	0,374	0,287	0,263	1,000	0,105	0,469	0,000	1,000
<i>Uso antrópico</i>	-	-	0,359	0,156	0,392	0,750	0,075	0,557	0,022	0,965
<i>Uso aquático</i>	-	-	0,475	0,087	0,895	0,333	0,020	0,849	0,627	0,213
<i>Uso degradado</i>	-	-	0,122	0,634	0,829	0,417	0,008	0,941	0,086	0,876
<i>Uso natural</i>	-	-	0,436	0,095	0,207	1,000	0,061	0,609	0,031	0,953
EPHEMEROPTERA - PT										
Dist. Município	0,827	0,111	0,654	0,542	-	-	0,482	0,533	-	-
Dist. Barragem	0,616	0,244	0,435	0,750	-	-	0,548	0,383	-	-
Dist. rio Doce	0,618	0,242	0,972	0,333	-	-	0,382	0,617	-	-
Dist. UC	0,853	0,067	0,326	0,958	-	-	0,727	0,200	-	-
<i>Uso antrópico</i>	0,493	0,397	0,473	0,708	-	-	0,608	0,308	-	-
<i>Uso aquático</i>	0,519	0,389	0,909	0,333	-	-	0,312	0,733	-	-
<i>Uso degradado</i>	0,280	0,667	0,406	0,750	-	-	0,350	0,758	-	-
<i>Uso natural</i>	0,633	0,222	0,423	0,750	-	-	0,562	0,450	-	-
EPHEMEROPTERA - PR										
Dist. Município	-	-	0,172	0,521	1,000	1,000	0,249	0,108	0,912	0,300
Dist. Barragem	-	-	0,836	0,007	1,000	1,000	0,392	0,025	0,930	0,067
Dist. rio Doce	-	-	0,615	0,061	1,000	1,000	0,049	0,705	0,183	0,967
Dist. UC	-	-	0,363	0,202	1,000	1,000	0,481	0,013	0,000	1,000
<i>Uso antrópico</i>	-	-	0,602	0,043	1,000	1,000	0,159	0,291	0,939	0,067
<i>Uso aquático</i>	-	-	0,560	0,054	1,000	1,000	0,162	0,268	0,017	0,950
<i>Uso degradado</i>	-	-	0,307	0,288	1,000	1,000	0,0660	0,616	0,980	0,367
<i>Uso natural</i>	-	-	0,669	0,021	1,000	1,000	0,096	0,481	0,945	0,067
TRICHOPTERA - PT										
Dist. Município	0,186	0,528	0,087	0,395	0,484	0,064	0,074	0,775	-	-
Dist. Barragem	0,197	0,522	0,030	0,926	0,440	0,064	0,075	0,797	-	-
Dist. rio Doce	0,202	0,512	0,249	0,015	0,238	0,467	0,268	0,419	-	-
Dist. UC	0,216	0,485	0,189	0,163	0,052	0,266	0,226	0,452	-	-
<i>Uso antrópico</i>	0,303	0,346	0,010	0,921	0,370	0,124	0,194	0,521	-	-
<i>Uso aquático</i>	0,043	0,905	0,282	0,008	0,039	0,835	0,210	0,507	-	-
<i>Uso degradado</i>	0,042	0,887	0,048	0,516	0,018	0,908	0,231	0,462	-	-
<i>Uso natural</i>	0,335	0,267	0,016	0,957	0,469	0,060	0,207	0,518	-	-
TRICHOPTERA - PR										
Dist. Município	-	-	0,229	0,411	0,241	0,750	0,008	0,936	0,060	0,897
Dist. Barragem	-	-	0,449	0,129	0,223	0,750	0,123	0,360	0,029	0,953

	BA1a		BA1b		BA2		BA3		BA4	
Dist. rio Doce	-	-	0,337	0,237	0,162	1,000	0,279	0,081	0,263	0,569
Dist. UC	-	-	0,665	0,017	0,130	1,000	0,260	0,094	0,000	1,000
<i>Uso antrópico</i>	-	-	0,167	0,488	0,217	0,750	0,182	0,200	0,254	0,572
<i>Uso aquático</i>	-	-	0,262	0,336	0,633	0,667	0,492	0,003	0,136	0,716
<i>Uso degradado</i>	-	-	0,336	0,242	0,557	0,750	0,329	0,054	0,149	0,668
<i>Uso natural</i>	-	-	0,208	0,416	0,091	1,000	0,241	0,101	0,204	0,640

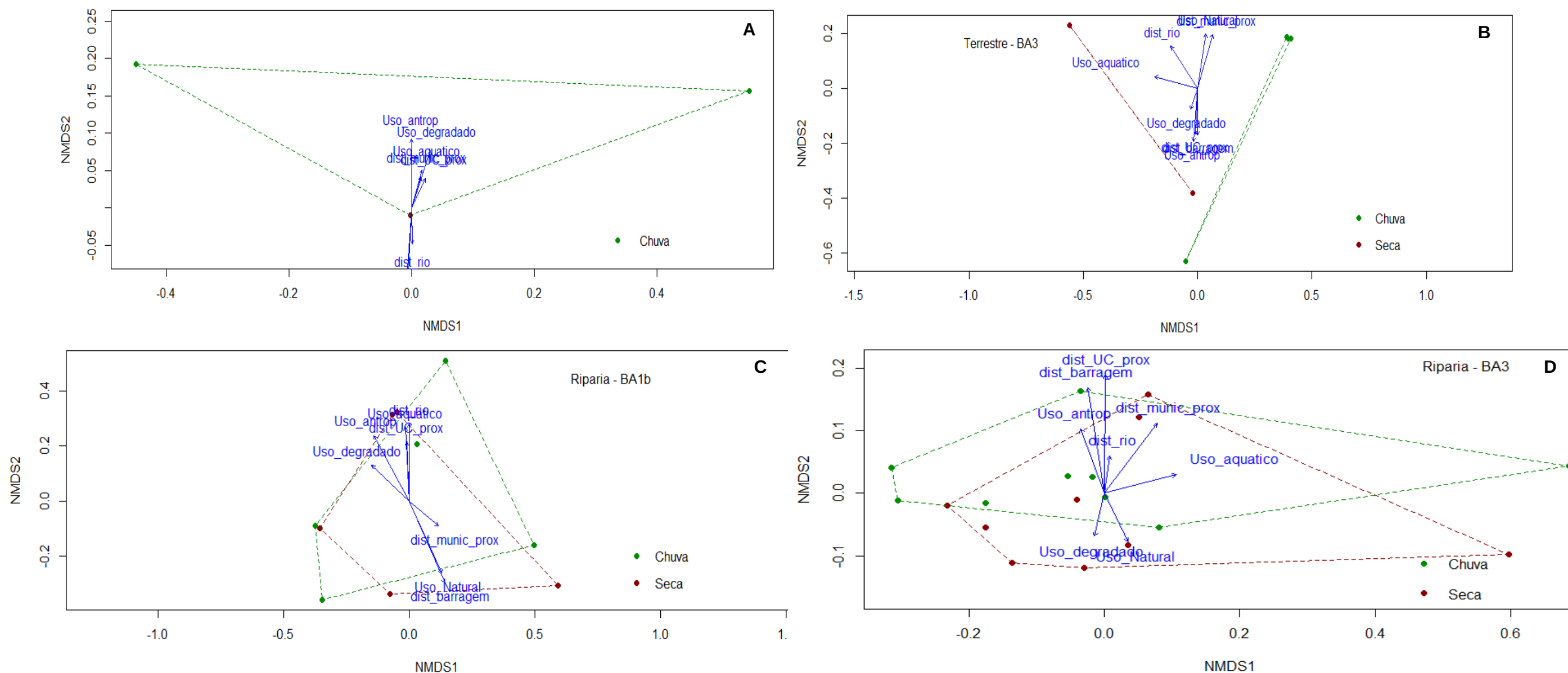


Gráfico 24. Ordenação por NMDS das comunidades de Odonata e Ephemeroptera em função da distância do município mais próximo, barragem de Fundão, rio Doce, Unidade de Conservação mais próxima, *uso antrópico*, ambientes aquáticos, degradação ambiental, e áreas naturais para os dados das duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. **A.** Odonata, BA1b, *Parcelas Terrestres*. **B.** Odonata, BA3, *Parcelas Terrestres*. **C.** Ephemeroptera, BA1b, *Parcelas Ripárias*. **D.** Ephemeroptera, BA3, *Parcelas Ripárias*.

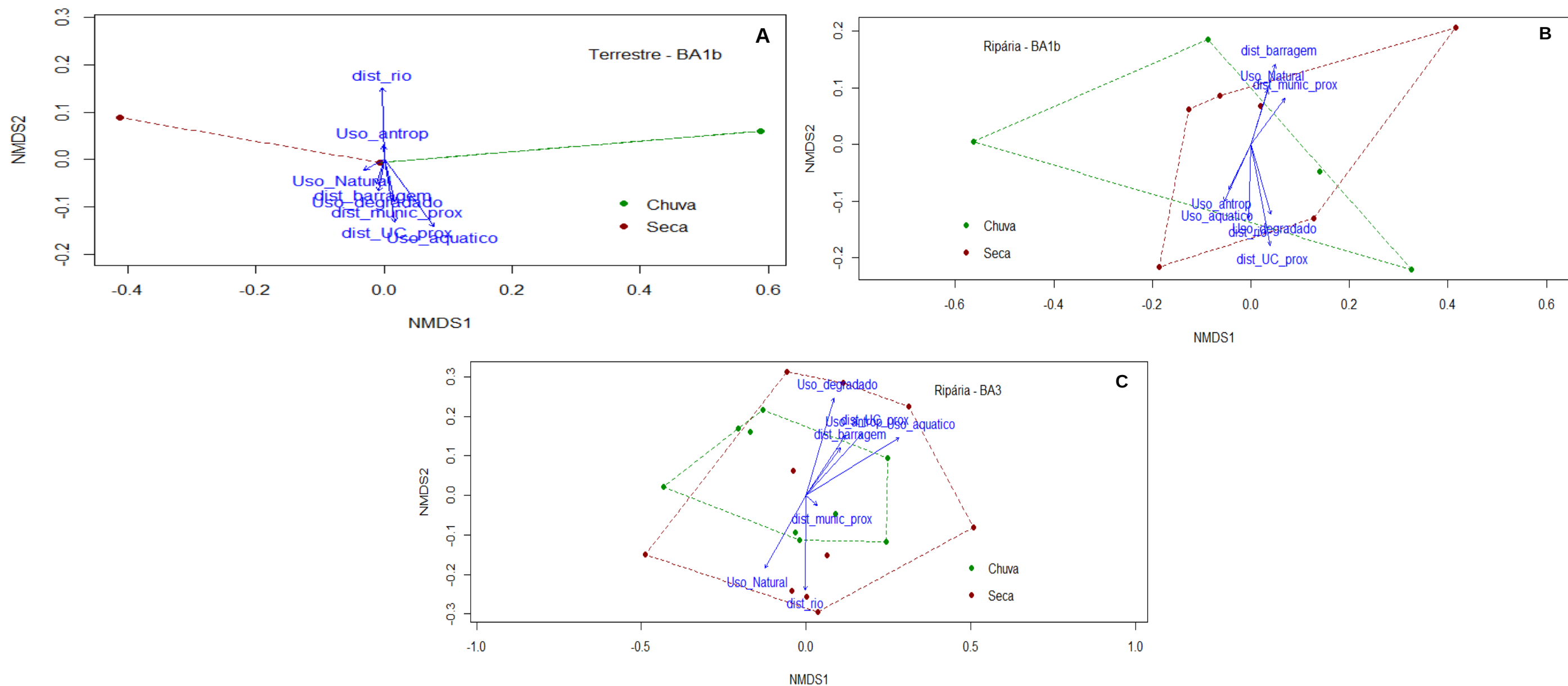


Gráfico 25. Ordenação por NMDS das comunidades de Odonata e Ephemeroptera em função da distância do município mais próximo, barragem de Fundão, rio Doce, Unidade de Conservação mais próxima, *uso antrópico*, ambientes aquáticos, degradação ambiental, e áreas naturais para os dados das duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. **A.** Trichoptera, BA1b, *Parcelas Terrestres*. **B.** Trichoptera, BA1b, *Parcelas Ripárias*. **C.** Trichoptera, BA3, *Parcelas Ripárias*.

3.1.4.1. Táxons de interesse para a conservação

Dividimos em três grupos principais os táxons de interesse para conservação: 1) espécies ameaçadas de extinção; 2) espécies potencialmente novas para a ciência; e 3) espécies estritamente dependentes da qualidade dos sedimentos do leito do rio.

Cinco espécies de Odonata ameaçadas de extinção foram coletadas na **Área de Estudo** – *C. januaria*, *H. petiense*, *H. obsoletum*, *I. ictinia* e *M. pronoti*. Dentre estas espécies as que possuem a distribuição mais limitada são *H. obsoletum* e *M. pronoti*, restritas às parcelas PC1Pr e 20T (TP, 1P), e representadas por apenas 2 exemplares cada. *Helveciagrion obsoletum* está inclusa na lista de espécies ameaçadas de extinção de MG, enquanto *M. pronoti* está na lista mundial, nacional, e no ES é considerada como provavelmente extinta. Estas espécies são ameaçadas principalmente devido à perda de habitat e poluição dos corpos d'água.

Registramos ao menos duas espécies potencialmente novas de Trichoptera e três espécies novas de Ephemeroptera. Ambas as espécies de Trichoptera pertencem ao gênero *Leptonema*. Este gênero apresenta a taxonomia bem conhecida e são amplamente distribuídos na região Neotropical. As espécies deste gênero são relativamente grandes entre os representantes da Ordem e tem hábitos crepusculares ou diurnos (FLINT, 2008). O reconhecimento destas espécies novas demonstra que uma análise taxonômica mais profunda com revisões sistemáticas teria como resultado outras novas espécies de Trichoptera pertencentes a gêneros de taxonomia menos conhecida. As espécies novas de Ephemeroptera pertencem a três famílias distintas – Baetidae (*Apobaetis* aff. *lakota*), Polymitarcyidae (*Campsurus* aff. *evanidus*) e Leptophlebiidae (*Thraulodes* sp.1). *Apobaetis* aff. *lakota* e *Campsurus* aff. *evanidus* foram coletadas no leito principal do rio Doce, nas parcelas PS2Pr e 9I1P, respectivamente. Cabe destacar que a espécie nova de *Apobaetis* já havia sido registrada por FRANCISCHETTI (2007) em sua tese de doutorado, através de uma única ninfa do Rio Sacramento (Bom Jesus do Galho, MG), próximo ao encontro com o rio Doce, porém ela ainda não foi descrita. Já *Thraulodes* sp.1, coletado no Parque Estadual do Rio Doce, encontra-se em processo de descrição (FRANCISCHETTI, comunicação pessoal).

Apesar de não haver espécies de Ephemeroptera e Trichoptera listadas como ameaçadas de extinção até momento, muitas delas são estritamente relacionadas com a qualidade dos sedimentos do leito do rio, o que as tornam alvo de interesse para

conservação. Muitas espécies da família Hydropsychidae (Trichoptera), que habitam a calha do rio e constroem seus abrigos nos sedimentos (WATER; CONTROL, 1983; OLIVEIRA; FROEHLICH, 1996), provavelmente sofreram com o impacto do rompimento da barragem e podem até terem sido extintas localmente. Além destas, muitas espécies de Leptophlebiidae (Ephemeroptera), que utilizam os recursos do sedimento para alimentação e abrigo (DOMÍNGUEZ et al., 2006), possivelmente também sofreram com o rompimento da barragem de Fundão. FOSSATI et al. (2001) avaliaram o impacto da entrada de sedimentos autóctones nos ambientes aquáticos e demonstraram que os Ephemeroptera (principalmente os da família Leptohyphidae e Leptophlebiidae) estão entre os organismos mais afetados e, portanto, são potenciais indicadores para este tipo de impacto. O aumento de sedimento fino em suspensão no leito dos rios ocasiona seu assoreamento, diminuição da diversidade de habitats e microhabitats e eutrofização artificial (enriquecimento por aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio), levando a uma diminuição da diversidade (CALLISTO; MORETII; GOULART, 2001; GOULART; CALLISTO, 2003). Além do mais, a ressuspensão em excesso de sedimentos na água pode causar danos ao sistema respiratório destes insetos, através do acúmulo de partículas na superfície do corpo e nas brânquias (LEMLY, 1982). Por fim, a recolonização através de estoques populacionais mantidos nos tributários é provável, mas a perda de diversidade genética nas populações do Rio Doce é irreparável.

3.1.4.2. Metais pesados

Um total de sete amostras de insetos aquáticos para análises de metais pesados foram coletadas durante o primeiro ano de monitoramento – uma no BA1a (parcela 2T1Pr), duas no BA1b (10T2Pr, 12T1Pr) e quatro no BA3 (18TB2Pr, 20T1Pr, PERD5Pr, PS2Pr). Foram analisadas as concentrações mínimas, médias e máximas de Ar, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn nos tecidos dos insetos aquáticos dos três blocos (**Quadro 25**). Apenas as amostras PS2Pr e PERD5Pr (BA3) são provenientes do leito principal do rio Doce, ou seja, foram diretamente afetadas pela lama de rejeito.

Quadro 25. Resumo descritivo das análises de concentrações de metais pesados nos tecidos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Metal	Valor de referência (mg*kg ⁻¹)	Mín.	Mediana	Máx.
BA1a	Arsênio	1	0,05	0,05	0,05
	Cádmio	2	0,05	0,05	0,05
	Chumbo	2	0,05	0,05	0,05
	Cobre	1	4,4	4,4	4,4
	Cromo	3	0,05	0,05	0,05
	Ferro	6	0,05	0,05	0,05
	Manganês	4	0,05	0,05	0,05
	Mercúrio	5	0,05	0,05	0,05
	Zinco	2	7,94	7,94	7,94
BA1b	Arsênio	1	0,05	0,0865	0,123
	Cádmio	2	0,05	0,05	0,05
	Chumbo	2	0,05	0,054	0,058
	Cobre	1	2,22	4,965	7,71
	Cromo	3	0,05	0,05	0,05
	Ferro	6	0,05	12,95	25,8
	Manganês	4	0,05	5,25	10,4
	Mercúrio	5	0,05	0,05	0,05
	Zinco	2	5,4	17,1	28,8
BA3	Arsênio	1	0,032	0,385	1,4
	Cádmio	2	0,032	0,385	1,4
	Chumbo	2	0,048	1,062	3,77
	Cobre	1	3,11	202	55,823
	Cromo	3	0,032	1,4	0,385
	Ferro	6	0,048	170,512	449
	Manganês	4	1,4	79,3	20,959
	Mercúrio	5	0,032	1,4	0,385
	Zinco	2	0,032	2,916	6,98

* Valores de referência: 1- Rainbow et al., 2012 (Trichoptera); 2- Awrahman et al., 2016 (Trichoptera); 3- Canivet et al., 2001 (Ephemeroptera e Trichoptera); 4- Tomasik & Warren, 1996 (*Daphnia*); 5- Chibunda, 2009 (Chironomidae); 6- Gerhardt, 1992 (Ephemeroptera).

No BA1b, apenas a concentração de Mn (10,4 mg*kg⁻¹) ultrapassou o valor de referência (10 mg*kg⁻¹), enquanto no BA3, as concentrações de Cd (1,4 mg*kg⁻¹), Cu (202 mg*kg⁻¹), Fe (449 mg*kg⁻¹), Mn (79,3 mg*kg⁻¹) e Hg (1,4 mg*kg⁻¹) ultrapassaram os valores de referência (**Quadro 26, Gráfico 26**). Todas as concentrações de metais pesados no BA1a estavam abaixo dos valores de referência (**Quadro 26**).

Quadro 26. Concentrações de metais pesados nos tecidos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera, analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Metal	Valor de referência (mg*kg ⁻¹)	Máximo observado
BA1b	Manganês	10	10,4
	Cádmio	0,57	1,4
	Cobre	170	202
BA3	Ferro	50	449
	Manganês	10	79,3
	Mercúrio	0,93	1,4

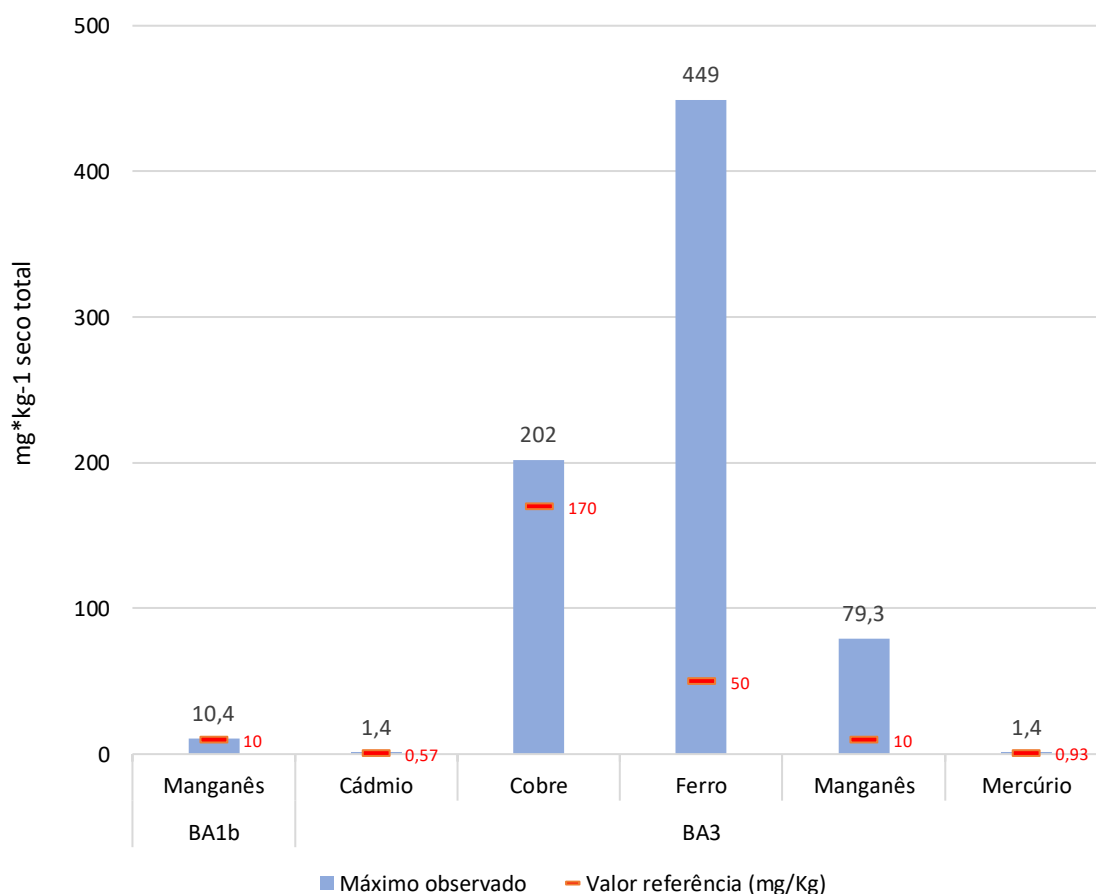


Gráfico 26. Concentrações de metais pesados nos tecidos de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores de referência segundo Awrahman et al., 2016; Chibunda, 2009; Gerhardt, 1992; Rainbow et al., 2012; Tomasik & Warren, 1996.

3.1.5. Conclusões e recomendações

Este relatório teve por objetivo a realização de uma Avaliação Ecológica Rápida de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera na Bacia do rio Doce, MG/ES, além da avaliação dos impactos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão sobre a comunidade destes insetos aquáticos. Antes de apresentar as principais conclusões é preciso ressaltar a importância e o pioneirismo do presente estudo, que tem gerado um grande volume de dados de grande relevância tanto para a fauna quanto para a flora da Bacia do rio Doce. Por consequência, pode-se dizer que com o desenvolvimento deste trabalho, a Bacia do rio Doce passa a ser uma das bacias hidrográficas com a biodiversidade mais bem conhecida no Brasil.

3.1.5.1. Objetivos específicos

Após o primeiro ano de monitoramento, foi possível chegar às seguintes conclusões:

1) Realizar um levantamento bibliográfico das espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera registradas para a BHRD.

O levantamento bibliográfico de dados secundários (**Quadro 18; APÊNDICE 19**), demonstrou que a riqueza de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera registradas para a **BHRD** é relativamente alta, quando comparadas com o número de espécie das três ordens para o Brasil e para os estados do ES e MG. O número de espécies de Ephemeroptera da Bacia ultrapassa a riqueza da ordem em MG e a riqueza de Trichoptera na Bacia é maior do que a registrada para o ES.

2) Gerar uma lista de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera coletadas na Área de Estudo, caracterizando as espécies encontradas quanto ao seu estado de conservação (BR, MG e ES), grupo funcional alimentar, endemismo e espécies exóticas.

Foram registradas para a **Área de Estudo** um total de 66 espécies de Odonata, 61 espécies de Ephemeroptera e 28 espécies de Trichoptera (**APÊNDICES 19, 20, 21, 22, 22**). Apenas para o grupo de Odonata que há espécies registradas atualmente classificadas como ameaçadas de extinção. Em relação aos Grupos Funcionais Alimentares, todas as espécies de Odonata foram consideradas predadoras (P), os Ephemeroptera coletor-apanhador (CA), raspador (R), fragmentador (F) e coletor-filtrador (CF) e os Trichoptera CA, R e CF. Não registramos espécies exóticas.

3) Estimar suficiência amostral através da curva de rarefação para os métodos utilizados nos Blocos Amostrais e Abordagens.

As curvas de acumulação de espécies de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera para os métodos utilizados (rede D, puçá, lençol e Pensilvânia), em todos os BA e Abordagens, demonstraram comportamento ascendente e sem estabilização.

4) Avaliar o padrão de distribuição espacial, riqueza, abundância, diversidade e de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera nos Blocos Amostrais e Abordagens em função da distância do rio Doce e variáveis qualificadoras de uso e ocupação do solo.

O BA3 foi o que apresentou maior riqueza, abundância e diversidade de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera, além de possuir os maiores números de espécies exclusivas de Odonata e Ephemeroptera. Isto está intimamente relacionado com as parcelas instaladas no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), que abrigam 14 espécies exclusivas (2 espécies de Odonata e 12 de Ephemeroptera). Além disso, 4 espécies de Odonata ameaçadas de extinção também estão presentes neste BA, duas delas exclusivas do PERD. Vários grupos de invertebrados (e.g., Lepidoptera, Formicidae) e vertebrados (e.g., Squamata, Aves) do presente estudo seguiram padrão similar de riqueza e abundância. Isto reforça a importância deste fragmento na conservação da fauna da Bacia do médio rio Doce.

Considerando as distintas abordagens desta pesquisa, as parcelas que apresentaram maiores riquezas, abundâncias e diversidades das ordens de insetos aquáticos estudadas foram, por ordem decrescente: *Parcelas Ripárias*, *Ilhas* e *Parcelas Terrestres*. Apesar do grande esforço de coleta nas *Parcelas Terrestres*, com 76 parcelas amostradas contra 32 *Parcelas Ripárias* e de ilhas, elas contribuíram apenas com 0,47% da abundância total de Ephemeroptera e apenas uma espécie foi exclusiva desta abordagem. Esse resultado já era esperado, pois os insetos aquáticos estudados dependem de ambientes aquáticos para a deposição de seus ovos e o desenvolvimento de suas fases imaturas. É, portanto, incoerente que haja investimento de capital financeiro e humano amostrando tais áreas.

A análise GLM mostrou que houve diminuição da riqueza de Odonata no BA1a e BA3 e de Ephemeroptera no BA3 com o distanciamento da margem do rio Doce. Isto, porém, não reflete o grau de impacto que as espécies sofreram com o rompimento da barragem de Fundão, pois há variados fatores influentes que não são medidos diretamente pelo

presente estudo. Para Ephemeroptera, é clara a influência da grande diversidade encontrada nos afluentes localizados no PERD, o que causa grande discrepância de riqueza entre a calha principal do rio Doce e de seus afluentes. Isto também pode ocorrer para Odonata, pois algumas espécies ovipositam em fitotelma (bromélias, ocos de troncos), ou seja, podem estar mais associadas aos ambientes florestais do que aos dulciaquícolas propriamente dito. O padrão inverso foi encontrado para Ephemeroptera e Trichoptera no BA4, onde o aumento da distância do rio Gualaxo do Norte (afluente do rio Doce), mostrou diminuição da riqueza. Ou seja, o rio Gualaxo do Norte é mais rico do que seus afluentes devido a diferença de porte dos corpos d'água, como esperado (VANNOTE et al., 1980). Por fim, de uma maneira geral, ocorre um aumento da riqueza de insetos aquáticos entre 1.500-2.000 m de distância do rio Doce (**Gráfico 23; Quadro 27**). Após essa distância ocorre queda acentuada da riqueza, pois os insetos aquáticos possuem baixa capacidade de voo (KOVATS et al., 1996) e também porque só existem *Parcelas Terrestres* dentro dessa faixa de distância.

Os resultados de NMDS mostraram que a distância da barragem de Fundão influenciou significativamente a composição das comunidades de Odonata e Ephemeroptera entre estações no BA1b e BA3. A distância do rio Doce explicou de forma significativa os padrões das comunidades de Trichoptera e Odonata nas *Parcelas Terrestres* no BA1b e BA3 (**Quadro 27**). Já esperávamos por este resultado, pois considerando apenas as *Parcelas Terrestres* nas análises, a variável “distância do rio” visivelmente influenciaria a composição das espécies, pois estes animais estão estritamente ligados aos ambientes aquáticos e, no geral, voam pequenas distâncias (KOVATS et al, 1996).

A distância da Unidade de Conservação mais próxima explicou os padrões de composição das comunidades de Ephemeroptera no BA3 (**Quadro 27**). Este resultado está em conformidade e justificativa os resultados encontrados no GLM, ou seja, a riqueza de Ephemeroptera aumenta com o aumento da distância do rio Doce, por sofrer influência da fauna encontrada no Parque Estadual do Rio Doce. Ademais, as espécies de Odonata e Ephemeroptera são sensíveis ao desmatamento e à poluição ambiental, fatores relacionados às variáveis “uso antrópico” e “uso natural”, ambas com poder de explicação sobre a distribuição das comunidades destes insetos nos BA1b e BA3 (**Quadro 27; Gráfico 24**). No geral, as comunidades responderam negativamente à variável “uso antrópico” e positivamente à variável “uso natural” (**Gráfico 24**).

Alguns padrões de diversidade, abundância, riqueza ou espaciais observados poderiam estar ligados aos dados de uso e ocupação do solo (**Volume I, Capítulo 8**), porém foi

constatado que com as métricas avaliadas não foi possível, no momento, ligar diretamente qualquer alteração dos índices quantitativos ao rompimento da barragem de Fundão. Além do mais, as estruturas de comunidades de insetos aquáticos estão relacionadas notadamente ao gradiente contínuo longitudinal das características abióticas, principalmente relacionado à ordem do córrego, que afeta a disponibilidade dos diferentes recursos alimentares (Conceito do Rio Contínuo, VANNOTE et al., 1980).

Quadro 27. Resumo quantitativo das distâncias em relação ao rio Doce e variáveis de uso e cobertura do solo de influência para Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Abordagem / Bloco amostral	BA4	BA3	BA 2	BA1b	BA1a
Distância do rio Doce (m)					
ODONATA					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	1.500	-	-	1.500
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	-	-	-	-
EPHEMEROPTERA					
<i>Parcelas Ripárias</i>	2.000	1.500	-	-	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	-	-	-	-
TRICHOPTERA					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	-	-	-	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	-	-	-	-
Uso e cobertura do solo - Composição de espécies					
ODONATA					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	-	-	-	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	Município, Barragem Rio, Antrópico Aquático, Natural	-	Barragem Antrópico Natural	-
EPHEMEROPTERA					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	Barragem UC	-	Barragem Antrópico Natural	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	-	-	-	-
TRICHOPTERA					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	Aquático	-	UC Rio Aquático	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	-	-	-	-

5) Avaliar a concentração de metais pesados nos tecidos dos insetos aquáticos.

Dentre as sete amostras analisadas, a coletada na parcela PS2Pr (rio Doce; BA3; município de Ipaba, MG) foi a que apresentou concentrações de vários metais pesados acima dos valores de referência. As concentrações de Cd, Cu, Fe e Hg nos tecidos dos insetos aquáticos desta parcela correspondem, respectivamente, ca. 245%, 118%, 250% e 150% das concentrações-limite (**Quadro 26; Gráfico 26**) para a sobrevivência destes organismos sem nenhum prejuízo à sua fisiologia, alimentação, desenvolvimento e reprodução (AWRAHMAN et al., 2016; GERHARDT, 1992; RAINBOW et al., 2012). A amostra PERD5Pr (BA3), coletada também no leito do rio Doce, apresentou concentração de Fe ($106 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) cerca do dobro do valor de referência ($50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (**Quadro 26; Gráfico 26**). GERHARDT (GERHARDT, 1992), em experimentos laboratoriais, constatou que cerca de 20% das ninfas de *Leptophlebia marginata* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) morrem por problemas digestivos quando submetidas a concentrações de Fe acima de $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Foi verificado também que concentrações de Hg acima de $0,93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ causam um retardamento na emergência (transição entre a fase imatura e adulta) de *Chironomus riparius* (CHIBUNDA, 2009).

Uma das amostras de áreas não afetadas pelo rejeito da lama, a da parcela 18TB2Pr (PERD, Lagoa Juquita), apresentou altas concentrações de Fe e Mn, cerca de 800% dos valores de referência (**Quadro 26; Gráfico 26**). É importante destacar que esta amostra representou uma exceção dentre as amostras de áreas não afetadas, que possuem concentrações de metais pesados abaixo dos valores de referência. Não possuímos, porém, uma hipótese para uma amostra presente em uma área dentro de uma Unidade de Conservação, não afetada diretamente pelo derramamento possuir concentrações tão altas.

Levando em consideração que a concentração de Cd ($<0,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), Cu (máxima de $53,9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) e Hg (máxima de $0,28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) nos solos das parcelas ripárias do BA3 (**Volume I, Capítulo 8**) não ultrapassaram os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420 (1,3, 60 e $0,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2009), esperaríamos que o mesmo ocorresse nos organismos aquáticos deste BA. Porém, as concentrações destes metais nos insetos aquáticos ultrapassaram as concentrações-limite para a sobrevivência deste organismos (**Quadro 26; Gráfico 26**). Dessa forma, suspeita-se que as concentrações destes metais pesados estejam ligadas a algum acontecimento restrito ao ambiente aquático, porém o número de amostras ainda é pequeno (espacial e temporalmente) para uma conclusão mais

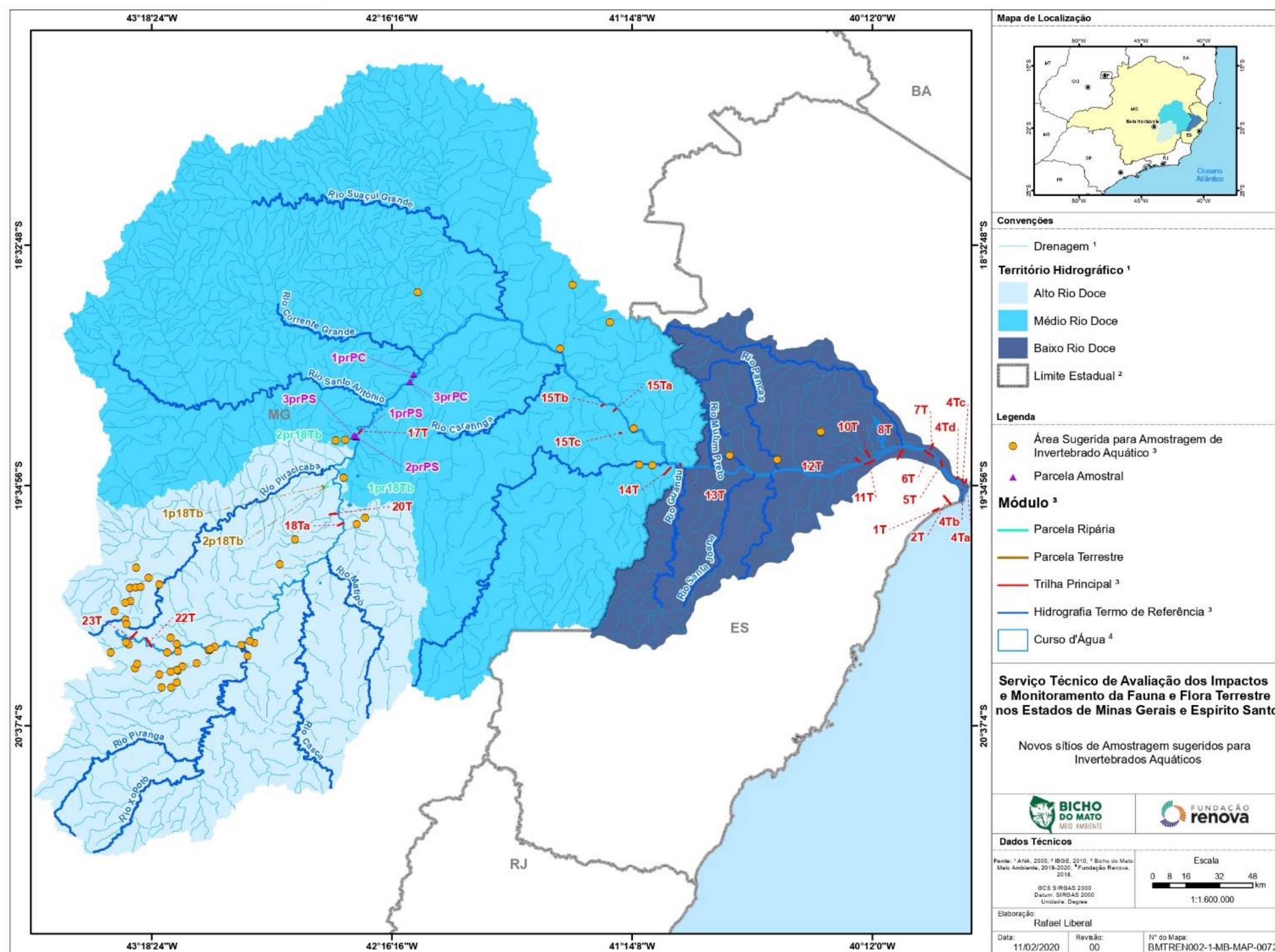
precisa. Além disso, amostras de insetos aquáticos para análises de metais pesados não foram coletadas no BA4, área em que sofreu o maior impacto do rompimento da barragem.

6) Destacar melhorias e/ou alterações metodológicas para o estudo.

Alguns aspectos metodológicos necessitam de mais atenção para que ocorra um aprimoramento deste estudo. Como explanado no Objetivo 4, a coleta de Ephemeroptera e Trichoptera em *Parcelas Terrestres* é incoerente, uma vez que estes organismos são estritamente dependentes dos ambientes aquáticos e voam a pequenas distâncias. Já para Odonata, recomendamos manter a amostragem das campanhas anteriores, pois estes insetos possuem grande capacidade de voo e alguns grupos ovipõem em fitotelma (bromélias, ocos de árvores). Dessa forma, recomendamos que sejam retiradas todas as *Parcelas Terrestres* de futuras amostragens e que sejam incluídas novas *Parcelas Ripárias* e *Ilhas* para complementação dos pontos amostrais de Ephemeroptera e Trichoptera. Sugerimos um total de aproximadamente 104 parcelas distribuídas nos rios principais (rio Doce, rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo) e em seus afluentes, abrangendo rios de diferentes ordens (**Mapa 1**).

Uma abordagem em que a diversidade de condições de integridade ambiental, distribuídas no rio Doce e tributários, sendo todas amostragens realizadas exclusivamente às margens de corpos d'água tem diversas vantagens. A primeira é o ranqueamento das diferentes estruturas de fauna relacionadas aos habitats e seus estados de conservação, onde as melhores condições de qualidade de água podem ser associadas a presença ou ausência de certos grupos de organismos (GROVE et al., 2015; HAWKINS; OLSON; HILL, 2010). Além disso, a utilização de um método padronizado de coleta do sedimento da calha do Rio Doce, em toda sua extensão, também seria de grande valia, pois riqueza e diversidade de espécies, assim como seu grau de tolerância aos impactos ambientais, seriam padronizadamente avaliados. Os organismos utilizados neste estudo são utilizados como indicadores de qualidade de água em todo o mundo (BUSS; SALLES, 2007; DALAL; GUPTA, 2018; HAGGAG et al., 2018; HAMID; RAWI, 2017; STUBBINGTON et al., 2018), sendo, portanto, fundamentais para o monitoramento da recuperação da biodiversidade do Rio Doce.

Mapa 1. Sugestão de novas UA para Ephemeroptera e Trichoptera em corpos d'água afetados e não afetados pela lama de rejeitos, para futuras campanhas da Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna na Bacia do rio Doce, MG/ES.



Em relação à coleta de imaturos, em muitas parcelas, principalmente as do BA1b, não foi possível realizar o arrasto com a *rede D* devido ao risco de afogamento na calha principal do rio Doce. Apesar disso, em áreas próximas às parcelas de coleta o acesso ao rio era mais fácil, assim, recomendamos que os coletores tenham uma maior liberdade em escolher a área para coleta de imaturos. Ainda assim, a coleta padronizada de sedimentos ao longo de todo o Rio Doce fornece um parâmetro de comparação sobre a integridade do Rio. Outros métodos que poderiam ser utilizadas para esta coleta de sedimento seriam os *core* nas regiões marginais ou dragas de fundo na calha central, em locais de menor correnteza e profundidades até 10 m.

A armadilha *lençol* também necessita de ajustes. No primeiro ano de monitoramento foi empregada apenas durante 1h em cada parcela, e em mais de uma parcela por noite. O tempo de armadilhamento deve ser de no mínimo 2h por parcela, e apenas uma parcela deve ser amostrada por noite, durante o pico de atividade de voo dos adultos, no período crepuscular (NOWINSZKY, 2004). Além disso, recomendamos fortemente que sejam utilizadas lâmpadas do tipo Led nas armadilhas *Pensilvânia* e *lençol*, pois a utilização de lâmpadas UV representa risco de incêndio. Devido à diferença de voltagem entre esse tipo de lâmpada e a bateria que a alimenta, é necessária a utilização de um conversor, que ao longo das horas de coleta esquenta demasiadamente.

Se uma das prioridades do estudo ainda for o de analisar a concentração de metais pesados para o grupo de invertebrados aquáticos necessitaremos de incluir métodos que sejam capazes de capturar grande volume de organismos, para atingir massa suficiente para análise, ca. 1 g. Se, alternativamente, como já sinalizado no Relatório do Workshop II, houver a chance de aproveitamento satisfatório do material já coletado, e em meio líquido, para esse fim, o número de amostras aumentaria significativamente, permitindo análise mais abrangente da **Área de Estudo**.

7) Apontar as espécies mais ameaçadas pelo rompimento da barragem de Fundão e as espécies que podem atuar como indicadoras ambientais.

Para fins de monitoramento no prosseguimento dos estudos, sugerimos que espécies de Hydropsychidae (Trichoptera) e Leptophlebiidae (Ephemeroptera) sejam investigadas, pois as mesmas provavelmente sofreram com o impacto do rompimento da barragem e podem até terem sido extintas localmente, uma vez que são estritamente relacionadas a qualidade dos sedimentos do leito do rio. Além dessas, sugerimos também que as espécies de Odonata *C. januaria* e *I. ictinia* sejam monitoradas, pois

elas estão em risco de extinção e espécimes foram coletados em *Parcelas Ripárias* tanto no rio Doce quanto em seus afluentes.

8) Indicar espécies ou grupo de espécies candidatas para a realização de estudos genéticos.

Idealmente, recomenda-se que espécies utilizadas para estudos genéticos populacionais preencham alguns requisitos, como: 1) número de indivíduos suficiente para as análises (ao menos 100); 2) limites taxonômicos bem definidos; 3) distribuição geográfica mais restrita possível ao local alvo do estudo (Bacia do rio Doce); e 4) distribuição geográfica ampla dentro da **Área de Estudo** (ocorrência em várias parcelas). Os requisitos 1 e 2 são indispensáveis e limitantes para a realização de estudos populacionais genéticos, enquanto os requisitos 3 e 4 são desejáveis, mas não impedem a realização do trabalho. Levando em consideração estes fatores, não indicamos nenhuma espécie de Odonata devido ao baixo número de indivíduos, porém indicamos fortemente a inclusão de duas espécies de Ephemeroptera e duas de Trichoptera nestes estudos genéticos: 1) *Traverella insolita* está restrita ao ES e MG, já na **Área de Estudo** foram coletados espécimes em quatro parcelas (17T 1Pr; PERD 1Pr, 5Pr; PS 2Pr); 2) *Traverhypes yuati* está distribuído nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e na **Área de Estudo** possui distribuição ampla; 3) *Chimarra cultellata* está amplamente distribuída no país, já na **Área de Estudo** foram coletados espécimes nas parcelas PERD 1Pr e PS 1Pr; 4) *Helicopsyche opalescens* está amplamente distribuído no Brasil e na **Área de Estudo**.

9) Propor ideias de programas específicos.

Com o aumento do conhecimento da biodiversidade de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera da Bacia do rio Doce adquiridos a partir do primeiro ano de avaliação, podemos propor ideias de projetos mais restritos e que sejam mais propensos a detectar o impacto direto do rompimento da barragem. Seria de grande importância a realização de um monitoramento de metais pesados de Polymitarcyidae (Ephemeroptera) em áreas diretamente impactadas (rio Gualaxo do Norte e rio Doce, BA3 e BA4) e de áreas não impactadas adjacentes a esses locais. Espécies dessa família habitam o fundo dos rios e possuem o hábito escavador, além disso, no geral, são abundantes e são relativamente resistentes às alterações ambientais. Dessa forma, estes organismos representam bons modelos para estudar a contaminação por metais pesados.

3.1.5.2. Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento

No Parecer Técnico nº 01/2017 (IBAMA-COREC, 2017a), os órgãos ambientais levantaram oito perguntas principais que são o foco do presente estudo. Após o primeiro ano de avaliação ecológica rápida de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera ao longo do rio Doce e seus tributários, foi possível avaliar se tais questões são factíveis de serem respondidas ou não. Abaixo estão as questões com seus respectivos comentários.

1) Qual o impacto do evento sobre as espécies da fauna terrestre e aquática?

A ausência de estudos de comunidades de insetos aquáticos na calha principal do rio Doce desenvolvidos em momento anterior ao rompimento da barragem, faz com que a resposta a essa pergunta seja dificilmente alcançada. Apesar disso, dados da literatura apontam que espécies de Leptophlebiidae (Ephemeroptera) e Hydropsychidae (Trichoptera) provavelmente foram as que mais sofreram com o impacto do rompimento da barragem e podem até terem sido extintas localmente, uma vez que são estritamente relacionadas a qualidade dos sedimentos do leito do rio.

2) Houve acumulação de metais nas diferentes espécies e no solo?

Houve acumulação de metais pesados em insetos aquáticos, principalmente nas Parcelas Ripárias do BA3. Concentrações acima dos valores de referência para invertebrados aquáticos foram detectados para Cd, Cu, Fe e Hg na parcela PS2pr (rio Doce, município de Ipaba, MG). As concentrações destes metais no solo não foram elevadas, o que aponta para algum acontecimento restrito ao ambiente aquático. Porém, o baixo número de amostras (N = 1 no BA1a; N = 2 no BA1b, N = 4 no BA3) e a ausência de amostras no BA4 não nos permite conclusões sobre uma origem mais provável e correlacionável ao rompimento de Fundão. Assim, para alcançarmos uma resposta satisfatória é preciso realizar uma coleta mais representativa de insetos aquáticos em vários pontos no rio Doce, no rio Gualaxo do Norte e em seus afluentes não afetados, principalmente no BA3 e BA4.

3) Até qual distância do rio Doce a acumulação de metais foi observada?

No momento esta avaliação não é possível devido ao baixo número de amostras analisadas.

4) Como os metais pesados estão circulando nas cadeias?

Não é possível responder a essa pergunta, pois não há metodologia específica no presente estudo que permita tal avaliação. Para entender melhor essa questão, sugerimos o monitoramento da contaminação de metais pesados em insetos aquáticos em conjunto com morcegos e/ou aves insetívoras, principalmente no BA3 e BA4 (e.g., BECKER et al., 2018). Vale lembrar que os insetos aquáticos são a maior fonte de transferência de matéria orgânica do ecossistema aquático para o ecossistema terrestre. Assim, a emergência destes insetos é importante no fornecimento de nutrientes essenciais para os consumidores terrestres. Porém, com o aumento da poluição nos ambientes aquáticos, estes insetos transferem da mesma forma contaminantes para os consumidores terrestres (BARTRONS et al., 2018). Estima-se que globalmente, os insetos aquáticos exportam para o ambiente terrestre cerca de $43,9 \times 10^6$ Kg por ano de ácidos graxos fisiologicamente importantes e cerca de 649,6 Kg de Metil Mercúrio (MOYO, 2020).

5) Como as taxas de ocupação das diferentes espécies são afetadas pelas distâncias de rios, bordas, estradas e ferrovias, e aspectos físicos e químicos?

Pergunta não respondida no presente estudo e, possivelmente, não aplicável para o grupo de insetos aquáticos. Pelo fato de que os insetos aquáticos possuem, no geral, uma baixa capacidade de dispersão, as amostragens mais distantes das margens do rio Doce e afluentes (*Parcelas Terrestres*), não apresentaram abundância significativa.

6) Áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC) e aquelas fora de UC são semelhantes em termos de estruturas de comunidades ou são complementares?

Pergunta respondida no presente relatório. O PERD, unidade de conservação com pontos de amostragem na calha principal do rio Doce e em afluentes, apresentou alta riqueza, abundância e diversidade de Odonata, Ephemeroptera e Trichoptera, além de possuir os maiores números de espécies exclusivas de Odonata e Ephemeroptera.

7) Como se dará a recolonização das áreas que foram restauradas?

Nenhuma parcela amostrada se encontra em áreas restauradas, por isso, não existe a possibilidade de responder essa pergunta.

8) É possível detectar mudanças na composição de espécies de fauna terrestre afetadas pelo desastre?

A ausência de estudos de comunidades de insetos aquáticos na calha principal do rio Doce desenvolvidos em momento anterior ao rompimento da barragem, faz com que a resposta a essa pergunta seja dificilmente alcançada. Apesar de espécies mais resistentes à sedimentação, como as de Leptohyphidae, terem sido abundantes na **Área de Estudo**, não é possível fazer uma associação direta com o rompimento da barragem de Fundão.

3.2. INFRACLASSE NEOPTERA, Superordem ENDOPTERYGOTA

3.2.1. Ordem Lepidoptera

3.2.1.1. Introdução

Os insetos são indispensáveis para manutenção do equilíbrio ecológico dos ecossistemas, desempenhando importantes funções, como ciclagem de nutrientes, dispersão de sementes e polinização, e são encontrados em quase todos os habitats: em águas doces, salobras, solo, plantas, inclusive como parasitas de outros animais (BRUSCA; MOORE; SHUSTER, 2016). Compreendem a classe de artrópodes de maior riqueza, com ca. 1.000.000 de espécies descritas e estimativas de ca. 5.000.000, correspondendo a 66% dos animais conhecidos pela ciência (STORK et al., 2015; ZHANG, 2011). A elevada diversidade associada ao pequeno número de pesquisadores brasileiros que estudam a classe Insecta contribuem para o incipiente conhecimento taxonômico e ecológico desse grupo de organismos (LEWINSOHN; PRADO, 2002).

Indicadores ambientais devem ser utilizados para quantificar informações de cunho científico e aplicadas em tomadas de decisão em todos os níveis da sociedade, sendo úteis como ferramentas de avaliação de determinados fenômenos, apresentando suas tendências e progressos ao longo do tempo, além de simplificar e aperfeiçoar as informações de uma dada realidade, reduzindo tempo e recursos financeiros. Os indicadores são estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas (MMA, 2014b). Várias características permitem a utilização dos insetos como indicadores ambientais. Dentre elas, é possível citar a grande diversidade de papéis ecológicos do grupo, a variação de suas formas corporais, o rápido desenvolvimento, a elevada sensibilidade a processos evolutivos e a capacidade de exibir respostas rápidas a diferentes distúrbios ambientais (KREMEN et al., 1993).

A ordem Lepidoptera, borboletas e mariposas, é diversa e corresponde a ca. 20% de todas as espécies de insetos descritas (GRIMALDI; ENGEL, 2005). Caracterizam-se pelo desenvolvimento holometábolo com distintos estágios ao longo do ciclo de vida. As larvas são ápteras, com peças bucais do tipo mastigador e, em sua maioria, fitófagas, enquanto os adultos são alados, com peças bucais do tipo sugador e corpo coberto por escamas (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011) e se alimentam de néctar, exsudatos de plantas, frutas fermentadas, sais minerais presentes no solo, em animais em decomposição e em fezes. Enquanto as mariposas formam um grupo polifilético em

Lepidoptera, as borboletas possuem origem monofilética e incluem as famílias HesperIIDae, Lycaenidae, Riodinidae, Nymphalidae, Pieridae, Papiolinidae (FREITAS; MARINI-FILHO, 2011) e Hedylidae (esta última recentemente considerada como família de Papilionoidea (HEIKKILA et al., 2012). As borboletas são diurnas ou crepusculares, possuem antenas clavadas e, em sua maioria, asas coloridas e mantidas em posição vertical sobre o corpo quando em repouso (GULLAN; CRANSTON, 2012; TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011).

O Brasil registra ca. 3.250 espécies de borboletas (FREITAS; MARINI-FILHO, 2011) das quais 58 estão ameaçadas de extinção (ICMBIO/MMA, 2018a), 25% dos invertebrados terrestres ameaçadas no país (ICMBIO/MMA, 2018a). De acordo com o hábito alimentar dos adultos, as borboletas são divididas em duas guildas: nectarívoras, borboletas que se alimentam, principalmente, de néctar, representada por espécies de HesperIIDae, Papilionidae, Pieridae, Lycaenidae, Riodinidae e Nymphalidae; frugívoras, borboletas que obtém a maior parte de seus nutrientes de frutas fermentadas e seiva de plantas, representada apenas por espécies de Nymphalidae (DEVRIES, 1987). Este grupo representa 50-75% da riqueza de Nymphalidae da região Neotropical. Satyrinae, Charaxinae, Biblidinae estão entre os principais táxons avaliados em estudos de impacto ambiental (RIBEIRO, 2006).

Borboletas, em geral, compreendem um excelente grupo para monitoramento ambiental, devido à diversidade, facilidade de amostragem e identificação, ocorrência ao longo do ano, respostas rápidas a possíveis mudanças ambientais, especificidade de recursos e fidelidade ao micro-habitat (BROWN; FREITAS, 2000; SANTOS et al., 2016). No entanto, a utilização da guilda de borboletas frugívoras em estudos ambientais possui uma vantagem: a padronização do esforço amostral, através da utilização de armadilhas atrativas, que torna o sucesso da amostragem independente da habilidade do coletor (FREITAS; FRANCINI; S. BROWN JR, 2003).

O conhecimento taxonômico e ecológico de organismos da classe Insecta é ainda insuficiente em regiões especialmente diversas, sobretudo no Brasil (LEWINSOHN; PRADO, 2002). Inventários de lepidópteros são escassos, e Minas Gerais é o estado com maior lacuna de conhecimento na região Sul e Sudeste do país (FREITAS; MARINI-FILHO, 2011). A **BHrD**, inserida no bioma Mata Atlântica, possui grande potencial em abrigar uma lepidopterofauna diversa e, apesar de compreender uma área com média prioridade para conservação (FREITAS; MARINI-FILHO, 2011), inventários científicos são escassos. A principal ameaça para as espécies de borboletas consiste na

degradação ambiental e perda de habitats originais (BROWN JR, 1992). Desta forma, a intensa devastação e fragmentação dos remanescentes naturais da Mata Atlântica ao longo de sua história (DEAN, 1996; MYERS et al., 2000) justifica, em parte, o fato de 52 das 58 espécies de borboletas ameaçadas no Brasil ocorrem no bioma (FREITAS; MARINI-FILHO, 2011).

Neste sentido, no intuito de compreender e avaliar impactos ambientais, assim como iniciar o monitoramento das comunidades de borboletas nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão ao longo do rio Doce, nos estados de MG e ES, foram realizados o diagnóstico rápido local (dados primários) e regional (dados secundários). Este documento apresenta dados de duas campanhas (estações seca e chuvosa) do levantamento da fauna de Lepidoptera na **Área de Estudo**.

3.2.1.2. Objetivos específicos

- Descrever a estrutura das comunidades de borboletas, ou seja, a riqueza, composição e abundância das espécies de borboletas das áreas afetadas pelo rompimento da barragem Fundão;
- Avaliar se as alterações na estrutura da comunidade de borboletas são resultantes do impacto do rompimento da barragem de Fundão;
- Definir espécies indicadoras de qualidade ambiental, áreas prioritárias e processos ecológicos relevantes;
- Definir as espécies mais afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão;
- Definir quais e como os impactos afetam os táxons avaliados.

3.2.1.3. Material e métodos

Considerando as duas guildas alimentares de borboletas, nectarívoras e frugívoras, os métodos de levantamento de dados primários empregados neste estudo foram complementares e determinados para contemplar a maior variedade de fitofisionomias e habitats atrativos para a lepidopterofauna. Identificamos as espécies ameaçadas de extinção, as endêmicas, as consideradas raras, as não descritas previamente para a área estudada ou pela ciência, as indicadoras de qualidade ambiental, as de importância econômica e cinegética, inclusive as migratórias e suas rotas. O material biológico foi capturado, coletado, transportado e tombado de acordo com a Autorização IBAMA Nº 06/2018-CGBIO/DBFLO, de 28 de dezembro de 2018, vinculada ao Processo no 02001.001896/2018-05. As borboletas capturadas foram coletadas e acondicionadas,

individualmente, em envelopes entomológicos, com o registro do local de coleta (sítio, trilha, parcela, data e coletor), para posterior identificação.

3.2.1.3.1. Período de estudo

O Levantamento de Dados Primários de Lepidoptera aconteceu durante a estação seca do ano de 2018, no período de 06/07/2018 a 04/10/2018, estação chuvosa do ano de 2019, entre 16/01/2019 e 31/03/2019 totalizando 276 dias de amostragem. Para realização da amostragem quatro equipes de campo foram mobilizadas no intuito de maximizar o esforço de coleta (**Quadro 28**).

Quadro 28. Períodos de campo do estudo de Lepidoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Equipes	Biólogos	Período	Dias amostrados
1	Alexia E. F. Fernandes	25/07/2018 a 21/08/2018 10/09/2018 a 04/10/2018 16/01/2019 a 31/03/2019	102
2	Rosana M. P. Rocha	06/07/2018 a 22/07/2018 22/08/2018 a 03/09/2018 10/09/2018 a 26/09/2018 6/01/2019 a 18/03/2019	88
3	Holbiano S. Araújo	20/08/2018 a 12/09/2018 16/01/2019 a 18/03/2019	71
4	Alex S. Braga (biólogo)	07/07/2018 a 21/07/2018	15
Total dias amostrados seca			138
Total dias amostrados chuva			138
Total dias amostrados			276

3.2.1.3.2. Procedimentos de campo

3.2.1.3.2.1. Captura por armadilhas atrativas

O protocolo padrão de captura de borboletas frugívoras é fundamentado na utilização de armadilhas com iscas atrativas. O mais comum é banana fermentada com adição de garapa (caldo de cana). As armadilhas *Van Someren-Rydon* consistem de um cilindro de filó de ca. 110 cm de altura por 35 cm de diâmetro, fechado na extremidade superior (**Foto 3**). A extremidade inferior é aberta como um funil invertido e, possui uma

plataforma de madeira amarrada em sua base, a uma distância de ca. 5 cm. As plataformas possuem um furo central de ca. 10 cm, onde são dispostos copos de plástico de 250 ml com a isca. As borboletas são atraídas e ao alçarem voo ficam retidas no cilindro de filó, o que permite a identificação, marcação ou coleta dos indivíduos capturados (UEHARA-PRADO; BROWN JR; FREITAS, 2005).



Foto 3. Armadilha *Van Someren-Rydon* para captura de *Lepidoptera* frugívoras (*Nymphalidae*) usadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

O inventário de *Lepidoptera* usando armadilhas atrativas foi realizado em 102 parcelas de amostragem estruturadas como transectos lineares (**Foto 4**). Em cada transecto foram dispostas cinco armadilhas atrativas do tipo *Van Someren-Rydon*, posicionadas a uma distância de 50 m uma da outra e instaladas a ca. 1 m altura (UEHARA-PRADO; BROWN JR; FREITAS, 2005). As armadilhas ficaram expostas por um período de quatro dias em cada parcela e, foram verificadas diariamente. O esforço amostral total foi de 97.920 horas (**Quadro 29**).



Foto 4. Parcela de amostragem padronizada usada para o registro de Lepidoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Módulo: PERD. Parcela: 1prPERD.

Espécimes capturados e identificados em campo foram marcados e, posteriormente, soltos (**Foto 5**). Indivíduos de difícil identificação foram coletados e acondicionados, individualmente, em envelopes entomológicos, com o registro do local de coleta (sítio, trilha, parcela, data e coletor), para posterior identificação. Em laboratório, as borboletas foram manuseadas após exposição por câmara úmida e identificadas conforme bibliografia específica (D'ABRERA, 1987; GERARDO LAMAS, 2004; UEHARA-PRADO et al., 2004; WARREN et al., 2016). Após identificação, o material biológico foi condicionado em envelopes entomológicos com etiqueta de coleta e identificação.



Foto 5. Identificação e marcação de espécime Lepidoptera, durante a primeira campanha, na estação seca, de julho a outubro de 2018, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Espécime de *Taygetis virgilia*.

Quadro 29. Esforço de coleta de Lepidoptera por *armadilha de fruta*, durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Estação	Período	Número Parcelas	Armadilhas/ Parcela	Horas exposição/ armadilha	Horas exposição/ parcela	Horas Totais
Seca	06/07/2018 a 04/10/2018	102	5	96	480	48.960
Chuvosa	16/01/2019 a 31/03/2019	102	5	96	480	48.960
Seca/ Chuvosa	06/07/2018 a 04/10/2018 16/01/2019 a 31/03/2019	102	5	96	960	97.920

3.2.1.3.2.2. Coletas ativas com rede entomológica

A rede entomológica, também denominada *puçá*, é o método mais conhecido para capturar borboletas e mariposas (**Foto 6**). Este método captura, predominantemente, espécies frugívoras que são atraídas por flores no sub-bosque (FREITAS; FRANCINI; S. BROWN JR, 2003). Trata-se de um saco de filó ou organza (*voile*) em forma de cone, de ca. 60 cm de profundidade, preso a um cabo de 1 m, por um aro de alumínio resistente (30 cm de diâmetro). A borda que prende o saco ao arame deve ser reforçada por tecido resistente e o cabo pode ser desmontável, facilitando o transporte. Este método foi realizado durante duas horas por módulo, nas trilhas que dão acesso às parcelas. Assim, 18 módulos foram contemplados, o que resultou num esforço de coleta de 36 horas/campanha, num total de 72 horas (**Quadro 30**).

Quadro 30. Esforço de coleta de Lepidoptera por rede entomológica, durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Estação	Período	Número Módulos	Horas coleta / módulo	Horas Totais
Seca	06/07/2018 a 04/10/2018	18	2	36
Chuvosa	16/01/2019 a 31/03/2019	18	2	36
Seca/Chuvosa	06/07/2018 a 04/10/2018 16/01/2019 a 31/03/2019	18	4	72

3.2.1.3.1. Procedimentos de laboratório

Em laboratório, as borboletas foram manuseadas após exposição por câmara úmida e identificadas seguindo bibliografia específica (D'ABRERA, 1987; GERARDO LAMAS, 2004; PALO JR., 2017; UEHARA-PRADO et al., 2004; WARREN et al., 2016). Após identificação, o material biológico foi condicionado em envelopes entomológicos com etiqueta de coleta e identificação.

3.2.1.3.2. Tombamento do material testemunho

O material biológico foi tombado no Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, MG.



Foto 6. Método de amostragem por rede entomológica (*puçá*) de Lepidoptera durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.1.3.3. Análise dos dados

3.2.1.3.3.1. Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce

O levantamento de dados secundários de Lepidoptera, para caracterização regional da **Área de Estudo** foi realizado no Google Acadêmico (<https://scholar.google.com>), utilizando combinações de palavras-chave entre os nomes dos táxons ou vernáculos populares (conjunto 1) adicionados dos nomes da bacia hidrográfica, estado federativo e/ou região (conjunto 2). As palavras do primeiro conjunto usadas na busca foram: Borboletas, Lepidoptera, Nymphalidae, Lycaenidae, Papilionidae, Pieridae, Riodinidae, Hesperidae. Estas foram combinadas com as seguintes palavras/expressões, do segundo conjunto: **BHrD**, rio Doce, Minas Gerais, Espírito Santo, Mata Atlântica.

3.2.1.3.3.2. Identificação taxonômica e Status de conservação

A nomenclatura das espécies de Lepidoptera identificadas para região de estudo seguiu taxonomia atual (DUARTE, 2012; WARREN et al., 2016), o *status* de conservação (**Volume I, Item 5.7**), a caracterização de raridade, bioindicador ou biologia migratória seguiu a bibliografia especializada (BROWN JR, 1992; FREITAS; MARINI-FILHO, 2011).

3.2.1.3.3.3. Distribuição geográfica e endemismo

Dados sobre distribuição geográfica e endemismo de Lepidoptera são escassos, mas os dados disponíveis foram consultados na literatura especializada (BROWN JR, 1992; BROWN JR; FREITAS, 2000; FONSECA; KUMAGAI; MIELKE, 2006; FREITAS et al., 2016; FREITAS; MARINI-FILHO, 2011; PINHEIRO et al., 2010; SILVA et al., 2010; WARREN et al., 2016).

3.2.1.3.3.4. Sucesso amostral e estrutura da comunidade

A organização dos dados brutos foi realizada no software Microsoft Excel®. A construção da curva de acumulação de espécies para cálculo de esforço amostral foi conduzida através do software EstimateS 9.1 (COLWELL, 2016). Para as análises de riqueza foi utilizado o estimador *Jackknife* de 1ª ordem. Para análises de diversidade o Índice de Diversidade *Shannon*.

3.2.1.4. Resultados

3.2.1.4.1. Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce

O conhecimento da fauna de borboletas, em escala regional (**BHrD**), até o momento, é restrito a quatro estudos (BROWN JR; FREITAS, 2000; FONSECA; KUMAGAI; MIELKE, 2006)⁴. FONSECA et al. (2006) registrou 97 espécies nos municípios de Santa Barbara

⁴ Após busca bibliográfica no [Google Acadêmico](https://scholar.google.com.br/), utilizando combinações de palavras-chave entre os nomes dos táxon ou vernáculos populares (conjunto 1) adicionados dos nomes da bacia hidrográfica, estado federativo e/ou região (conjunto 2). As palavras do primeiro conjunto usadas na busca foram: Borboletas, Lepidoptera, Nymphalidae, Lycaenidae, Papilionidae, Pieridae, Riodinidae, Hesperidae. Estas

e São Gonçalo do Rio Abaixo (MG), 100 km a leste de Belo Horizonte, na microbacia hidrográfica do rio Santa Barbara, sub-bacia do rio Piracicaba. Silva et al. (2010) registrou 83 espécies de borboletas frugívoras no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), MG, em área lacustre, próxima às margens do rio Doce. BROWN & FREITAS (2000) registraram 297 espécies de borboletas no município de Santa Teresa (ES), 78 km de Vitória, em região montanhosa na Mata Atlântica. Por último, FREITAS et al. (2016), identificaram 512 espécies de borboletas em Linhares (ES). Assim, 793 espécies, distribuídas seis famílias (Hesperiidae, Lycaenidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae e Riodinidae), são conhecidas para **BHrD** (BROWN JR; FREITAS, 2000; FONSECA; KUMAGAI; MIELKE, 2006; FREITAS et al., 2016; SILVA et al., 2010), ca. 25% da riqueza de borboletas para o país (**APÊNDICE 22**). Destas espécies registradas, sete se enquadram em alguma categoria de ameaça:

- *Arawacus aethesa* (Hewitson, 1867) (Em Perigo – EN, nível mundial e nacional, Vulnerável – VU nos estados de ES e MG);
- *Heliconius natterei* C. Felder & R. Felder, 1865 (Em Perigo – EN, nível nacional, e Vulnerável – VU no Espírito Santo);
- *Caenoptychia bouletti* Le Cerf, 1919 (Criticamente em Perigo – CR);
- *Dasyophthalma vertebralis* Butler, 1869 (Criticamente em Perigo, Possivelmente Extinta – CR[PEX]);
- *Glennia pylotis* (Godart, 1819) (Em Perigo – EN);
- *Moschoneura pinthous methymna* (Godart, 1819) (Vulnerável – VU);
- *Perrhybris pamela flava* (Oberthür, 1896) (Em Perigo – EN, nível nacional, e Criticamente em Perigo – CR no Espírito Santo).

Com exceção de *D. vertebralis*, todas são endêmicas da Mata Atlântica (FREITAS; MARINI-FILHO, 2011; INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018).

foram combinadas com as palavras/expressões: Bacia Hidrográfica do rio Doce, rio Doce, Minas Gerais, Espírito Santo, Mata Atlântica.

3.2.1.4.2. Diagnóstico da Área de Estudo

O levantamento de dados primários para Diagnóstico Local da **Área de Estudo** registrou 7.824 indivíduos pertencentes a 244 espécies da ordem Lepidoptera, das as famílias Hesperíidae, Lycaenidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae e Riodinidae (**APÊNDICE 24**). A Diversidade foi semelhante entres os Blocos Amostrais, estações e abordagens (*Parcelas Terrestres, Ripárias e Ilhas*; **APÊNDICE 23**). Apenas o BA2 apresentou Índice de Diversidade *Shannon* inferior aos demais. Os maiores valores de riqueza e abundância de borboletas foram registrados nas *Parcelas Terrestres* durante a estação seca, dados que podem ser explicados pelo delineamento amostral, que possui maior quantidade de sítios amostrais em *Parcelas Terrestres*, e pelas melhores condições de voo e dispersão típicos da estação seca, e menor disponibilidade de recursos alimentares, o que possibilita maior sucesso na captura de Lepidoptera pelos métodos de coleta empregados neste estudo (**Quadro 31, APÊNDICE 23**).

Nymphalidae foi a família mais representativa, com 78% (190 espécies) da riqueza total. As demais famílias foram pouco representadas, Hesperíidae com 7% das espécies (N = 18), 6% em Pieridae (N = 14), 4% em Riodinidae (N = 10) e Lycaenidae (N = 9) e, por último Papilionidae com 1% das espécies (N = 3; Gráfico 27).

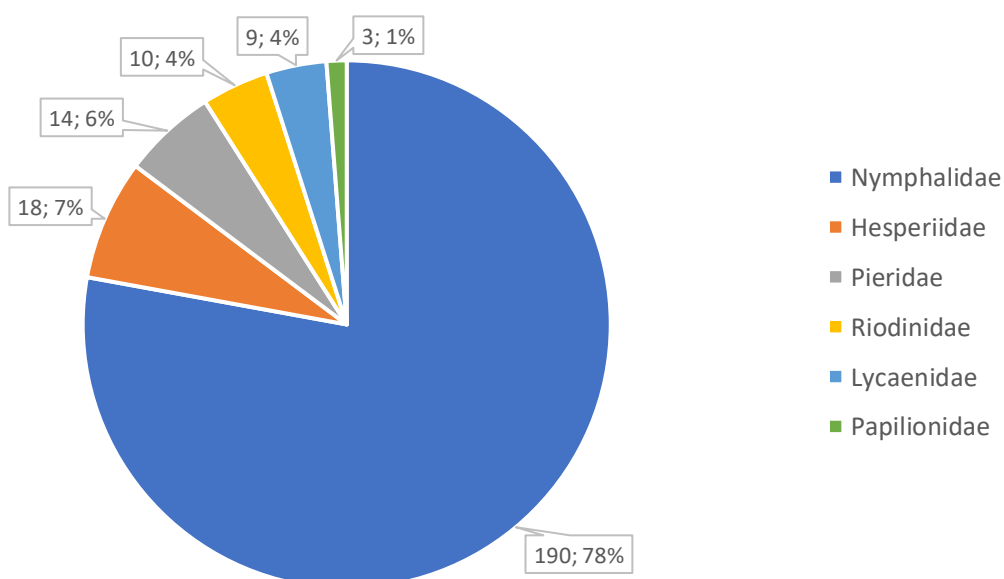


Gráfico 27. Riqueza absoluta e percentual de famílias de Lepidoptera capturadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Dentre os ninfalídeos, as subfamílias pertencentes às borboletas frugívoras apresentaram maior riqueza de espécies, sendo elas: Satyrinae (78 espécies; 41%), seguida de Biblidinae e Charaxinae (18% e 13%, respectivamente). Já as subfamílias predominantemente nectarívoras, Apaturinae, Cyrestinae, Danainae, Libytheinae, Limenitidinae, Heliconiinae e Nymphalinae, representaram em conjunto 28% das espécies (Gráfico 28).

Quadro 31. Espécies de Lepidoptera registradas na **Área de Estudo** durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Parcelas

Bloco Amostral	Estação	Abordagem	Riqueza	Abundância	Diversidade
BA4	Seca 2018	PT	44	233	3,45
		PR	45	284	3,44
	Chuvras 2019	PR	48	331	3,43
BA3	Seca 2018	PT	70	1905	3,42
		PR	71	1086	3,42
	Chuvras 2019	PT	70	586	3,38
		PR	60	436	3,3
		I	51	426	3,23
BA2	Seca 2018	PR	33	233	3,19
		I	1	1	3,17
	Chuvras 2019	PT	28	292	2,96
		PR	11	95	2,04
		I	81	549	3,48
BA1b	Seca 2018	PR	33	74	3,48
		I	9	24	3,48
		PT	71	771	3,47
	Chuvras 2019	PR	10	16	3,46
		I	28	321	3,46
BA1a	Seca 2018	PT	21	67	3,46
		I	9	38	3,46
	Chuvras 2019	PT	15	22	3,46
		I	17	34	3,46
		PT	166	3180	3,4
Total	Seca 2018	PR	109	1393	3,36
		I	17	63	3,37
		Total	189	4636	3,37
		PT	145	1955	3,34
	Chuvras 2019	PR	90	878	3,05
		I	39	355	3,46
		Total	172	3188	3,28
	Anual	PT	219	5135	3,37
		PR	142	2271	3,2
		I	44	418	3,41
		Total	244	7824	3,32

FESD – Floresta Estacional Semidecidual; FOD – Floresta Ombrófila Densa; VC – Vegetação costeira/restinga. Abordagem: PT – Parcela terrestre; PR – parcela ripária; I – Ilhas. Abordagens para as quais não obtivemos dados em campo não estão representadas.

Nymphalidae compreendeu, também, a família mais abundante, representando 97% das borboletas registradas (7.602 espécimes), sendo 7205 frugívoras. Esta representatividade da guilda de borboletas frugívoras, tanto em relação à riqueza de espécies quanto em relação à abundância, reflete o maior esforço amostral na amostragem passiva, com armadilhas atrativas, em comparação à amostragem ativa, com rede entomológica. Desta forma, a riqueza a abundância entre os diferentes táxons de Lepidoptera refletem os métodos e esforços amostrais aplicados neste estudo.

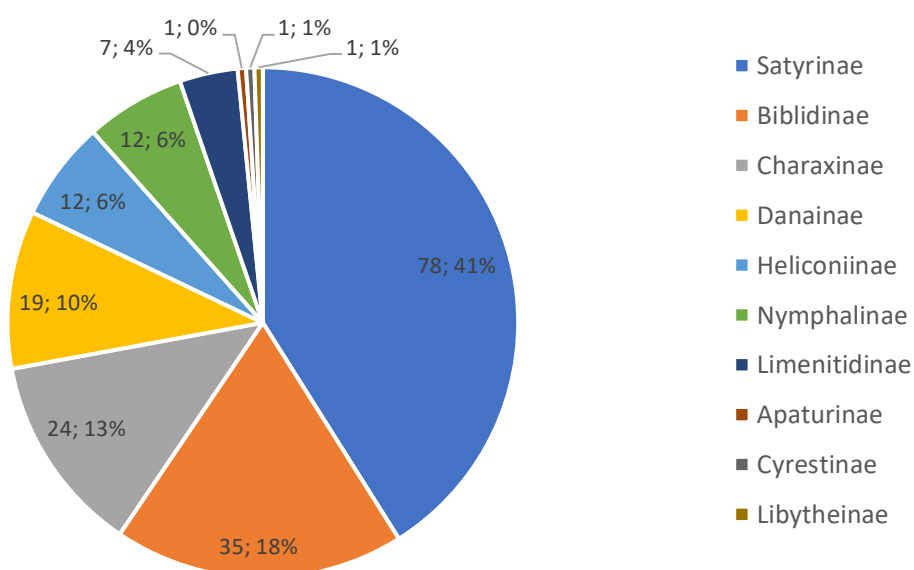


Gráfico 28. Riqueza absoluta e percentual de subfamílias de Nymphalidae (Lepidoptera), registradas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Satyrinae e Biblidinae apresentaram abundância similares, com 3.386 e 3.314 indivíduos, respectivamente, 88% da abundância total. Charaxinae representou apenas 7% (509 espécimes), e Apaturinae, Cyrestinae, Danainae, Libytheinae, Limenitidinae, Heliconiinae e Nymphalinae, subfamílias predominantemente nectarívoras, representaram apenas 5% do total de indivíduos de Nymphalidae (**Gráfico 29**).

A comunidade de borboletas foi dominada por *Eunica maja* (Fabricius, 1775) (Nymphalidae: Biblidinae), com 2.450 indivíduos capturados (32% da amostra). Outras espécies representaram de 2 a 8% dos indivíduos amostrados: *Paryphthimoides poltys*

(Prittwitz, 1865) (596 indivíduos; 8%; Nymphalidae: Satyrinae), *Cissia eous* (Butler, 1867) 6%, *Taygetis laches* (Fabricius, 1793) 5%, *Pareuptychia ocirrhoe* (Fabricius, 1776) 3%, *Taygetis virgilia* (Cramer, 1776), *Cissia* sp. e *Pharneuptychia pharnabazos* (Bryk, 1853) com 2% cada. Ainda, *Myscelia orsis* (Drury, [1782]) (Nymphalidae: Biblidinae) representou 3% da amostra, e as demais apresentaram frequência igual ou inferior a 1%. A dominância de *E. maja* pode estar relacionada a sua flutuação populacional sazonal, com picos conhecidos na estação seca, e também às características do habitat ou recursos alimentares para adultos e juvenis no BA3, principalmente na floresta densa e em regeneração, onde a espécie foi dominante.

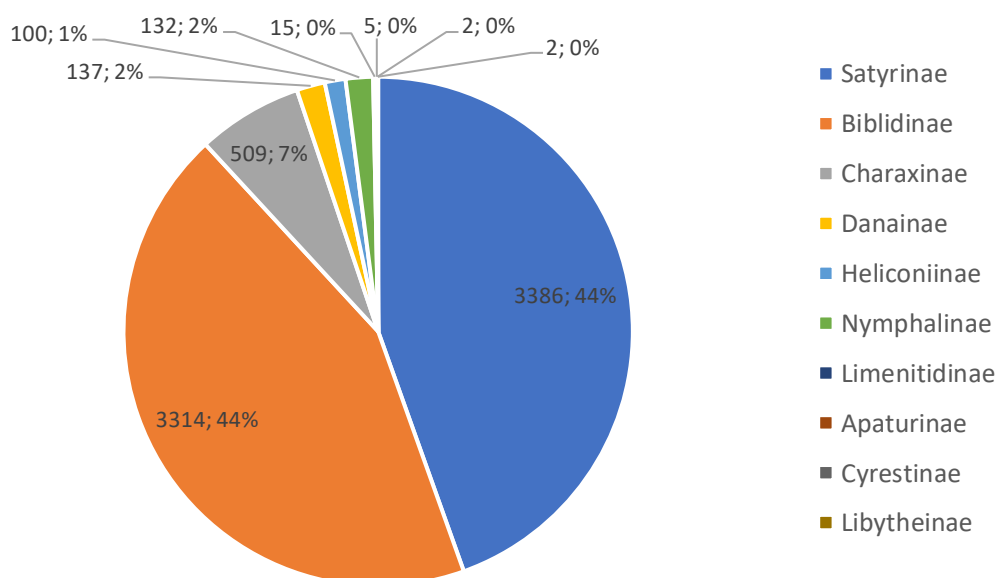


Gráfico 29. Abundância absoluta e percentual de subfamílias de Nymphalidae (Lepidoptera) capturadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

O levantamento de dados primários apresentou espécies indicadoras de ambientes florestais, matas úmidas, campos abertos, ambientes ruderais, pastagens, áreas antropizadas e florestas perturbadas. Das espécies mais abundantes, *E. maja* é uma espécie ribeirinha, comumente encontrada em ambientes perturbados, enquanto *P. poltys* é um satyríneo associado a ambientes com abundância de gramíneas (BROWN JR; FREITAS, 2000) e *T. laches* comum em sub-bosques de florestas (SILVA et al.,

2010). *Myscelia orsis*, por sua vez, é um biblidíneo geralmente relacionado à presença de ambientes florestais úmidos (BROWN JR, 1992). A diversidade de hábitos das espécies mais abundantes condiz com o mosaico de diferentes tipos vegetacionais na região, de ambientes altamente antropizados, com pequenos fragmentos de florestas em extensas áreas degradadas.

A curva de acumulação de espécies possui inclinação pouco significativa que indica pequeno potencial de incremento de novas espécies com o prosseguimento das coletas na região. A riqueza observada (244 espécies) corresponde a 80,81% da riqueza estimada (301,93 espécies), o que indica que o esforço de coleta foi satisfatório e suficiente para amostrar a biodiversidade local (**Gráfico 30**). No entanto, esperamos o registro de riqueza maior ao decorrer do monitoramento, pois em localidades de Mata Atlântica são estimadas 500-900 espécies de borboletas (BROWN; FREITAS, 2000).

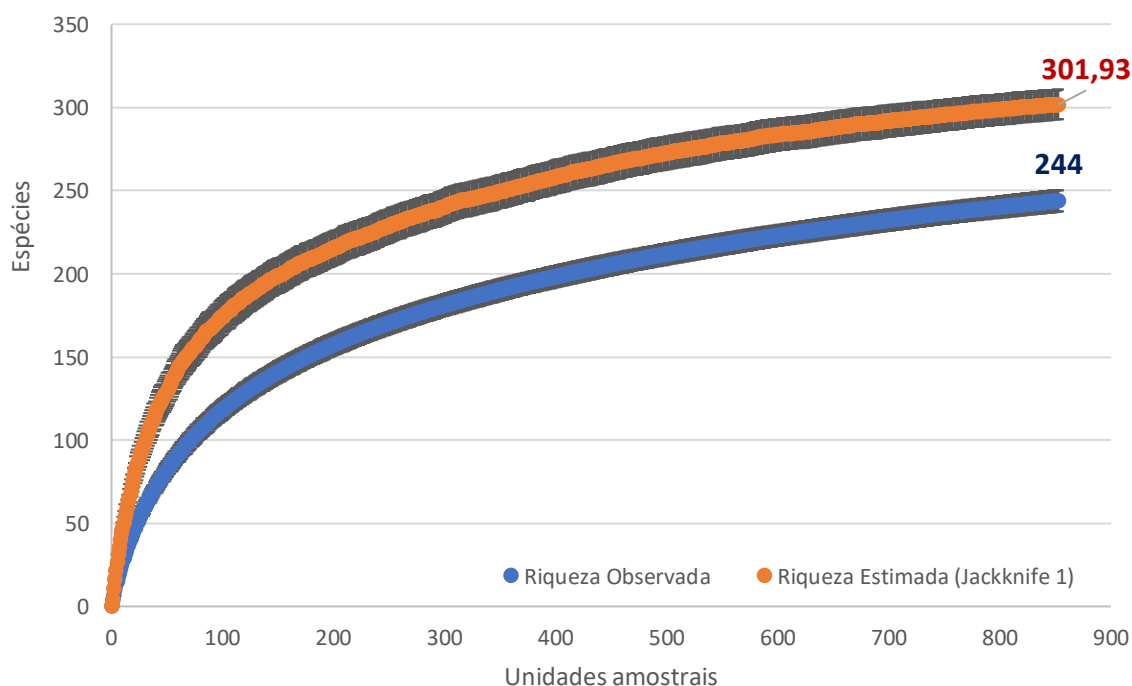


Gráfico 30. Curva de acumulação de espécies de Lepidoptera capturadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Barras verticais: desvio padrão.

3.2.1.4.2.1. Bloco Amostral 1a – Restinga, Vegetação Costeira

No BA1a foram amostrados 161 indivíduos pertencentes a 43 espécies. Nas parcelas em Ilhas foram registradas 22 espécies (72 ind.), e destas, a maior parte (17 spp., 57 ind.), ocorreram em vegetação aberta e/ou em floresta em regeneração. As espécies mais abundantes nesta fitofisionomia foram *Taygetis laches* (N = 15) e *Pareupytchia ocirrhoe* (N = 14). Nas Parcelas Terrestres foram registradas 28 espécies e 89 indivíduos, com uma maior representatividade na fitofisionomia restinga arbórea (21 spp., 67 ind.). Nesta fitofisionomia, as espécies mais abundantes foram *Zaretis itys* (N = 16) e *Memphis morvus* (N = 10). Não houve destacável dominância na comunidade deste BA. A espécie mais abundante foi *Taygetis laches* (N = 13%), seguido de *Pareupytchia ocirrhoe* e *Zaretis itys* (N = 10% cada), *Memphis morvus* (N = 7%), e *Eunica maja*, *A. demophon* e *Hesperiidae sp1*, em conjunto, 12% dos espécimes. O restante das espécies correspondeu a 48% da abundância total (**Gráfico 31**).

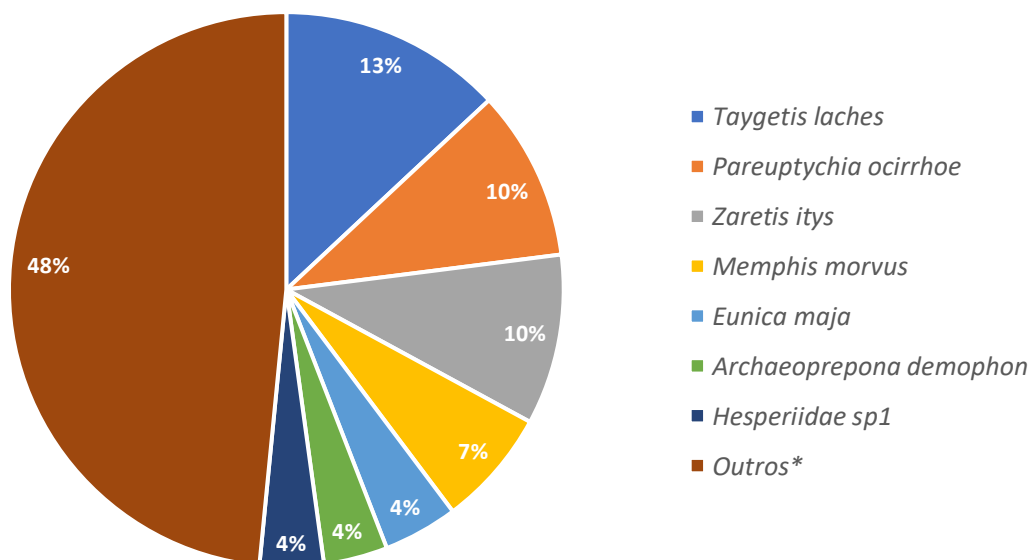


Gráfico 31. Abundância relativa de Lepidoptera capturadas no BA1a durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Outros*: 36 espécies com abundância relativa percentual inferior a 4%.

Dentre as espécies dominantes, destaca-se duas espécies na proximidade do leito do rio Doce (distância = 0), *T. laches* (N = 14) e *P. ocirrhoe* (N = 14), durante a estação seca. *Taygetis laches* é uma espécie abundante em sub-bosque florestal (SILVA et al., 2010), considerada especialista em habitat florestal (BRITO et al., 2014), mas comum em ambientes antropizados ou secundários (SILVA et al., 2012a) e de distribuição homogênea ao longo do ano (PETTIROSSI, 2009). *Pareuptychia ocirrhoe* é mais generalista, facilmente observada em bordas de floresta próximas a vegetação baixa e, quando lagartas, se alimentam de espécies de gramíneas (FREITAS; BARBOSA; MARÍN, 2016). A dominância destas duas espécies próxima ao rio Doce está relacionada à vegetação aberta e em regeneração.

Os resultados do GLM mostraram uma correlação negativa entre a riqueza de espécies em relação à distância do rio Doce para as *Parcelas Terrestres* tanto na estação seca (PseudoR² = -0.06; p < 0,005) quanto na estação chuvosa (PseudoR² = -0.18; p < 0,05; **Gráfico 32, Tabela 4**). Esta correlação negativa possivelmente se relaciona a presença de áreas mais preservadas mais próximas ao Rio, principalmente pela de parcelas na Reserva Biológica de Comboios.

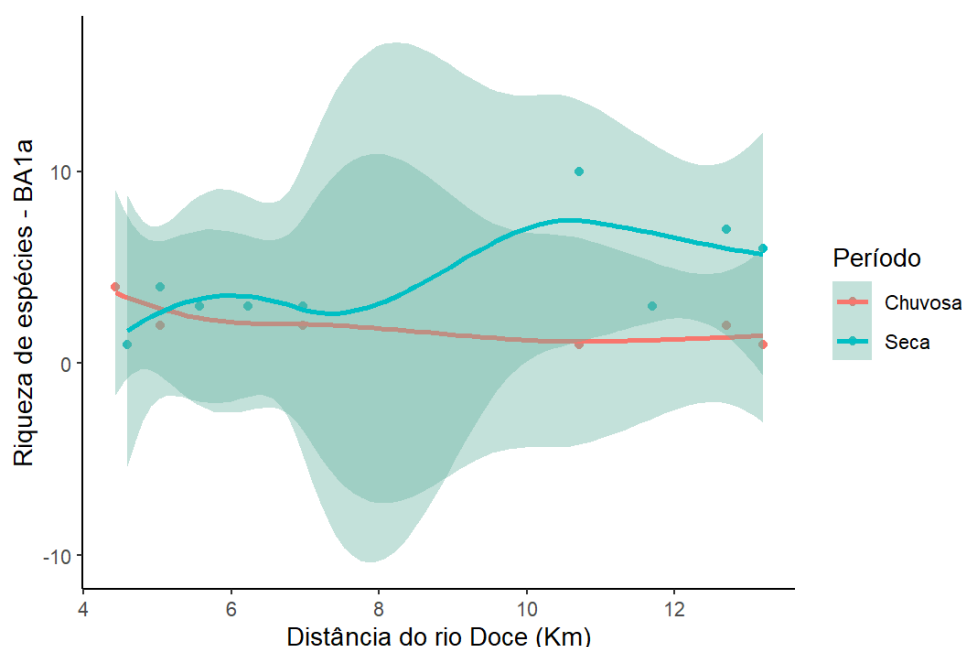


Gráfico 32. Relação entre a riqueza de espécies de Lepidoptera e a distância do rio Doce. Pontos amostrados nas *Parcelas Terrestres* do BA1a durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

O NMDS demonstrou que a composição da fauna de borboletas diferiu entre as estações climáticas e as variáveis relacionadas ao uso do solo, especificamente, categorias de cobertura natural ($R^2 = 0.56$; $p < 0,01$), ambientes antrópicos ($R^2 = 0.56$; $p < 0,001$) e presença de corpos d'água ($R^2 = 0.55$; $p < 0,01$), assim como as distâncias em relação ao município mais próximo ($R^2 = 0.56$; $p < 0,01$), à barragem ($R^2 = 0.47$; $p < 0,01$), ao rio Doce ($R^2 = 0.47$; $p < 0,01$) e a proximidade com Unidade de Conservação ($R^2 = 0.56$; $p < 0,01$) explicaram as diferenças na composição de espécies entre as UA (Gráfico 33, Tabela 5, Tabela 6).

Tabela 4. Modelos Lineares Generalizados (GLM) gerados para as amostras de borboletas coletadas nas Parcelas Terrestres e Parcelas Ripárias nos Blocos Amostrais (BA) durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Modelos gerados a partir da riqueza de espécies por BA em função da distância para o leito do rio Doce. Valores em vermelho: relação significativa; valores em laranja sinalizam tendência.

Bloco Amostral – Estação do ano	Estimativa	Erro padrão	Graus de liberdade	z	p
<i>Parcelas Terrestres</i>					
Intercepto	2,2439	0,0788	149	28,459	2E-16 *
BA1a – Chuva ¹	-0,1880	0,0650	149	-2,891	0,005 *
BA1a – Seca ¹	-0,0650	0,032	149	-2,029	0,044 *
BA1b – Chuva ¹	-0,2032	0,0842	149	-2,413	0,017 *
BA1b – Seca ¹	-0,1378	0,0833	149	-1,654	0,100
BA2 – Chuva ¹	-0,1353	0,1038	149	-1,303	0,195
BA2 – Seca ¹	0,1028	0,0724	149	1,419	0,158
BA3 – Chuva ¹	0,1727	0,0515	149	3,353	0,001 *
BA3 – Seca ¹	0,1012	0,0584	149	1,732	0,086
BA4 – Chuva ¹	0,1648	0,0725	149	2,274	0,025 *
BA4 – Seca ¹	0,0167	0,0783	149	0,214	0,831
<i>Parcelas Ripárias</i>					
Intercepto	247,361	0,1156	43	21,395	<2E-16 *
BA1a – Chuva ²	-	-	-	-	-
BA1a – Seca ²	-	-	-	-	-
BA1b – Chuva ²	-0,6033	0,3266	43	-1,847	0,073
BA1b – Seca ²	-0,3982	0,2087	43	-1,908	0,064
BA2 – Chuva ²	-0,1408	0,2081	43	-0,676	0,503
BA2 – Seca ²	0,1829	0,1319	43	1,387	0,174
BA3 – Chuva ²	0,0576	0,0796	43	0,724	0,474
BA3 – Seca ²	0,1761	0,0656	43	2,683	0,011 *
BA4 – Chuva ²	0,1706	0,1080	43	1,579	0,123
BA4 – Seca ²	NA	NA	43	NA	NA

Legenda: ¹ – Família Quasipoisson: Null deviance: 655,79; Residual deviance: 460,97; AIC: não se aplica.
² – Família Quasipoisson: Null deviance: 219,43; Residual deviance: 131,64; AIC: não se aplica. p – nível de significância: * - $p < 0,05$.

Tabela 5. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de borboletas por BA nas *Parcelas Terrestres* durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores vermelhos são estatisticamente significativos.

Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p
BA1a				
Município	0,0004	-1,0000	0,5667	0,003 *
Barragem	0,0004	1,0000	0,4789	0,005 *
Rio Doce	-0,0005	-1,0000	0,4727	0,006 *
UC	-0,0003	1,0000	0,5877	0,003 *
<i>Uso antrópico</i>	-0,0005	1,0000	0,5619	0,001 *
<i>Uso aquático</i>	0,0021	1,0000	0,5536	0,006 *
<i>Uso degradado</i>	0,0364	0,9993	0,4131	0,070
<i>Uso natural</i>	-0,00002	-1,0000	0,5662	0,002 *
BA1b				
Município	-0,2196	-0,9756	0,0042	0,869
Barragem	-0,5369	-0,8437	0,3848	0,001 *
Rio Doce	0,6991	0,7151	0,2903	0,001 *
UC	-0,1962	-0,9806	0,0644	0,122
<i>Uso antrópico</i>	0,4299	0,9029	0,3265	0,001 *
<i>Uso aquático</i>	0,4641	0,8858	0,0711	0,108
<i>Uso degradado</i>	0,4745	0,8803	0,1179	0,021 *
<i>Uso natural</i>	-0,4383	-0,8988	0,3568	0,001 *
BA2				
Município	0,0018	1,0000	0,0073	0,973
Barragem	-0,0002	-1,0000	0,1133	0,250
Rio Doce	-0,0005	1,0000	0,1673	0,169
UC	0,0013	-1,0000	0,3004	0,028 *
<i>Uso antrópico</i>	0,00002	-1,0000	0,2754	0,020 *
<i>Uso aquático</i>	-0,0002	-1,0000	0,0946	0,305
<i>Uso degradado</i>	0,0003	1,0000	0,1161	0,290
<i>Uso natural</i>	-0,0001	1,0000	0,3529	0,005 *
BA3				
Município	-0,3385	0,941	0,3397	0,006 *
Barragem	0,5108	-0,8597	0,5674	0,003 *
Rio Doce	-0,2004	0,9797	0,0878	0,328
UC	0,4508	-0,8926	0,3069	0,021 *
<i>Uso antrópico</i>	0,3797	-0,9251	0,4077	0,007 *
<i>Uso aquático</i>	-0,9919	0,1269	0,1687	0,100
<i>Uso degradado</i>	-0,4341	-0,9009	0,0756	0,402
<i>Uso natural</i>	-0,2585	0,9660	0,2876	0,021 *
BA4				
Município	0,5904	0,8071	0,5093	0,012 *
Barragem	0,7289	0,6847	0,4274	0,021 *
Rio Doce	-0,4675	-0,8840	0,1521	0,360
UC	0,0000	0,0000	0,0000	1,000
<i>Uso antrópico</i>	0,7524	0,6587	0,3765	0,040 *
<i>Uso aquático</i>	-0,5939	-0,8045	0,5399	0,009 *
<i>Uso degradado</i>	0,6664	0,7456	0,4768	0,020 *
<i>Uso natural</i>	-0,7254	-0,6883	0,5481	0,008 *

Legenda: p – nível de significância; * $p < 0,05$. Município – distância ao centro urbano mais próximo; Barragem – Distância até a barragem de Fundão; Rio Doce – Distância até o leito do rio Doce; UC – Distância até a Unidade de Conservação mais próxima; *Uso antrópico* – Categoria de uso do solo categorizada como zonas urbanas e similares; *Aquático* – Cobertura de ambientes aquáticos; *Uso degradado* – Áreas de cobertura e uso do solo de ambientes degradados pela atividade humana; *Natural* – Áreas de cobertura fitofisionômica natural.

Tabela 6. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de borboletas por BA nas *Parcelas Ripárias* durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos.

Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p
BA1a				
Município	-	-	-	-
Barragem	-	-	-	-
Rio Doce	-	-	-	-
UC	-	-	-	-
<i>Uso antrópico</i>	-	-	-	-
<i>Uso aquático</i>	-	-	-	-
<i>Uso degradado</i>	-	-	-	-
<i>Uso natural</i>	-	-	-	-
BA1b				
Município	-0,0004	1,0000	0,0315	0,844
Barragem	-0,0004	-1,0000	0,2547	0,150
Rio Doce	0,0013	1,0000	0,2091	0,280
UC	0,0001	1,0000	0,1772	0,342
<i>Uso antrópico</i>	0,0002	1,0000	0,2939	0,100
<i>Uso aquático</i>	0,0007	1,0000	0,2395	0,215
<i>Uso degradado</i>	0,0002	1,0000	0,2816	0,184
<i>Uso natural</i>	0,0003	1,0000	0,3285	0,065
BA2				
Município	0,6093	0,7930	0,9622	0,033 *
Barragem	0,5935	0,8049	0,9721	0,033 *
Rio Doce	0,0174	-0,9999	0,5558	0,500
UC	0,5002	0,86589	1,0000	0,400
<i>Uso antrópico</i>	-0,5886	-0,8084	0,9749	0,033 *
<i>Uso aquático</i>	-0,8816	-0,4720	0,6606	0,200
<i>Uso degradado</i>	0,8364	0,5482	0,7199	0,200
<i>Uso natural</i>	0,4518	0,8921	0,9920	0,400
BA3				
Município	-0,7743	-0,6328	0,2950	0,052
Barragem	0,7093	0,7049	0,5780	0,001 *
Rio Doce	-0,8338	-0,5522	0,1622	0,220
UC	0,7518	0,6595	0,2729	0,065
<i>Uso antrópico</i>	0,7673	0,6413	0,5412	0,002 *
<i>Uso aquático</i>	0,1449	-0,9895	0,0196	0,848
<i>Uso degradado</i>	0,9159	0,4015	0,1656	0,208
<i>Uso natural</i>	-0,7951	-0,6065	0,4697	0,009 *
BA4				
Município	0,9748	-0,2231	0,3319	0,363
Barragem	0,4879	-0,8729	0,2159	0,515
Rio Doce	0,4911	0,8711	0,3165	0,399
UC	0,0000	0,0000	0,0000	1,000
<i>Uso antrópico</i>	0,9846	0,1749	0,1654	0,609
<i>Uso aquático</i>	-0,3710	0,9286	0,4809	0,178
<i>Uso degradado</i>	0,9276	-0,3735	0,4106	0,261
<i>Uso natural</i>	-0,99999	-0,0032	0,2292	0,503

Legenda: p – nível de significância; * $p < 0,05$. Município – distância ao centro urbano mais próximo; Barragem – Distância até a barragem de Fundão; Rio Doce – Distância até o leito do rio Doce; UC – Distância até a Unidade de Conservação mais próxima; *Uso antrópico* – Categoria de uso do solo categorizada como zonas urbanas e similares; *Aquático* – Cobertura de ambientes aquáticos; *Uso degradado* – Áreas de cobertura e uso do solo de ambientes degradados pela atividade humana; *Natural* – Áreas de cobertura fitofisionômica natural.

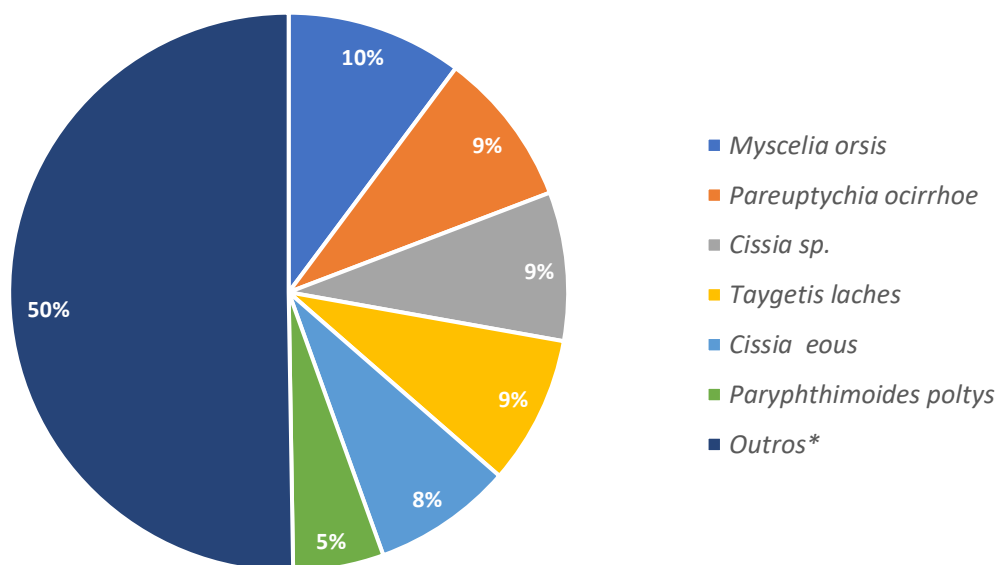


Gráfico 34. Abundância relativa de Lepidoptera no BA1b durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Outros*: 117 espécies com abundância relativa percentual inferior a 5%.

As espécies dominantes no BA1b são características de ambientes florestais, em especial *Myscelia orsis*, e bordas de floresta. Dentre elas, *Taygetis laches* destaca-se pela maior presença nas UA mais próximos ao leito do rio Doce na estação seca (N = 18). Na estação chuvosa, houve dominância de *Cissia eous* (N = 141) e *P. poltys* (N = 89) próximo ao rio Doce (distância = 0), espécies comuns em ambientes com predominância de gramíneas (**Quadro 32**). Estas espécies estão sendo favorecidas pela extensa área de pasto sujo, florestas degradadas e em regeneração, próximo ao leito do rio. Apesar desta condição de degradação ambiental seja anterior ao rompimento da Barragem de Fundão, é reconhecido que houve mudanças negativas na condição do ecossistema em função da erosão e deposição de rejeitos no BA1b (GOLDER ASSOCIATES, 2016). Desta forma, os impactos do rompimento podem ter favorecido ainda mais estas espécies de ambientes degradados.

Somente a riqueza de espécies das *Parcelas Terrestres* da estação chuvosa se correlacionou negativamente com a distância em relação ao rio Doce ($PseudoR^2 = -0,20$; $p < 0,05$; **Gráfico 35, Tabela 4**). Possivelmente alguma característica do habitat ou recurso alimentar durante a estação chuvosa possa ter incrementado a riqueza de espécies nas UA mais próximas ao rio nesta estação.

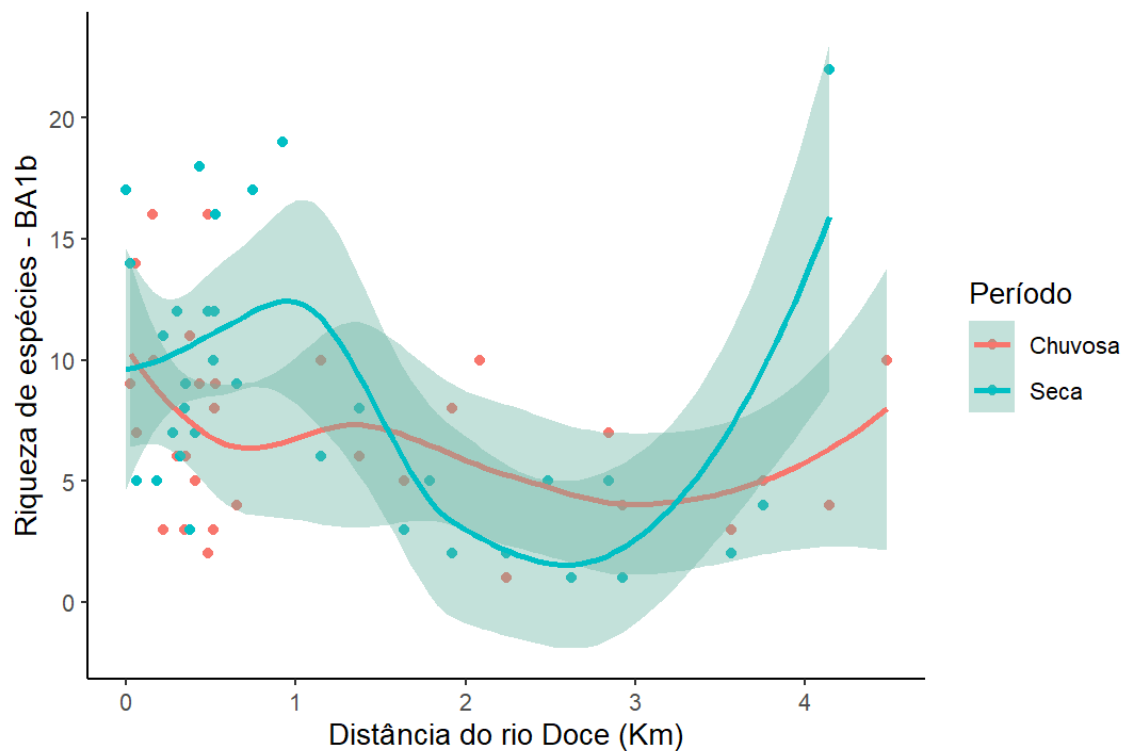


Gráfico 35. Relação entre a riqueza de espécies de Lepidoptera e a distância do rio Doce. Pontos amostrados nas *Parcelas Terrestres* do BA1b durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Para as *Parcelas Terrestres*, o NMDS mostrou que a composição de espécies de borboletas não difere entre as estações. As variáveis ambientes *uso antrópico* ($R^2 = 0,32$; $p < 0,001$), *uso degradado* ($R^2 = 0,11$; $p < 0,05$) e *uso natural* ($R^2 = 0,35$; $p < 0,001$), assim como a distância em relação a barragem ($R^2 = 0,38$; $p < 0,001$) e ao leito do rio Doce ($R^2 = 0,29$; $p < 0,001$) estruturaram a composição de espécies entre as UA (**Gráfico 36, Tabela 5**). Para as *Parcelas Ripárias* os dados foram incipientes para a análise e os resultados não foram significativos. A paisagem do BA1b é heterogênea, formada por mosaico de fragmentos de florestas densas inseridas em uma matriz composta por ambientes degradados, antrópicos e florestas em regeneração. Desta forma, algumas UA possuem composição de espécies mais relacionada à ambientes antrópicos e degradados, enquanto outros possuem espécies mais relacionadas a ambientes naturais e próximos de UCs, dispersando moderadamente os pontos em torno do eixo NMDS2 (**Gráfico 36, Tabela 6**).

Quadro 32. Espécies de Lepidoptera indicadoras de qualidade ambiental capturadas nas duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Táxon	Status ameaça	Endêmica	Indicadora	Cinegética, Migratória, Exótica
Hesperiidae				
<i>Heliopetes arsalte</i>	N/A	Não	Ambientes abertos	Não
<i>Pyrgus orcus</i>	N/A	Não	Ambientes abertos ou perturbados	Não
Lycaenidae				
<i>Hemiargus hanno</i>	N/A	Não	Campos	Não
Nymphalidae				
<i>Aeria olena</i>	N/A	Não	Ambientes florestais Comum em flores	Não
<i>Agraulis vanillae maculosa</i>	N/A	Não	Habitats abertos	Não
<i>Agraulis vanillae</i>	N/A	Não	Habitats abertos	Não
<i>Anartia amathea</i>	N/A	Não	Áreas abertas, rios e brejos Lugares úmidos e perturbados	Não
<i>Anartia jatrophae</i>	N/A	Não	Ambientes abertos	Não
<i>Archaeoprepona amphimachus</i>	N/A	Não	Floresta Estacional Semidecidual	Não
<i>Archaeoprepona demophon</i>	N/A	Não	Floresta Estacional Semidecidual	Não
<i>Caligo illioneus</i>	N/A	Não	Ambientes antrópicos	Não
<i>Eueides aliphera</i>	N/A	Não	Floresta perturbada	Não
<i>Eunica maja</i>	N/A	Não	Florestas perturbadas	Não
<i>Gordatiana muscosa</i>	N/A	Não	Ambiente florestal	Não
<i>Hamadryas arete</i>	N/A	Não	Florestas úmidas	Não
<i>Hamadryas februa</i>	N/A	Não	Ambientes perturbados	Não
<i>Heliconius erato phyllis</i>	N/A	Não	Florestas abertas ou perturbadas, clareiras em florestas densas	Não
<i>Heliconius ethilla narcaea</i>	N/A	Não	Floresta perturbada	Não
<i>Hermeuptychia hermes</i>	N/A	Não	Campos e ambientes abertos	Não

Táxon	Status ameaça	Endêmica	Indicadora	Cinegética, Migratória, Exótica
<i>Hypothyris ninonia</i>	N/A	Não	Ambiente florestal	Não
<i>Ithomia agnosia</i>	N/A	Não	Floresta úmida	Não
<i>Ithomia drymo</i>	N/A	Não	Floresta úmida	Não
<i>Junonia evarete</i>	N/A	Não	Habitats abertos e ensolarados, rios e brejos de capim	Não
<i>Lycorea halia</i>	N/A	Não	Florestas perturbadas	Não
<i>Marpesia chiron</i>	N/A	Não	Corredor ecológico	Migratória
<i>Myscelia orsis</i>	N/A	Não	Floresta úmida	Não
<i>Nica flavilla</i>	N/A	Não	Ambiente secundário	Não
<i>Paryphthimoides poltys</i>	N/A	Não	Comum em ambientes de gramíneas	Não
<i>Siproeta stelenes</i>	N/A	Não	Floresta perturbada	Não
<i>Taygetis laches</i>	N/A	Não	Ambientes secundários	Não
<i>Yphthimoides ochracea</i>	N/A	Não	Campos úmidos e brejos de altitude	Não
<i>Yphthimoides straminea</i>	N/A	Cerrado	Cerrado	Não
<i>Zaretis itys</i>	N/A	Não	Florestas de transição, mesófilas e secas	Não
Papilionidae				
<i>Parides anchises</i>	N/A	Não	Ambientes diversos inclusive antrópico	Não
Pieridae				
<i>Eurema elathea</i>	N/A	Não	Ambientes secundários	Não
<i>Phoebis sennae</i>	N/A	Não	Corredor ecológico	Migratória
<i>Eurema nise</i>	N/A	Não	Ambientes ruderais	Não

Status de ameaça (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018), Fontes bibliográficas: 1 (FONSECA; KUMAGAI; MIELKE, 2006); 2 (SILVA et al., 2010); 3 (BROWN JR; FREITAS, 2000).

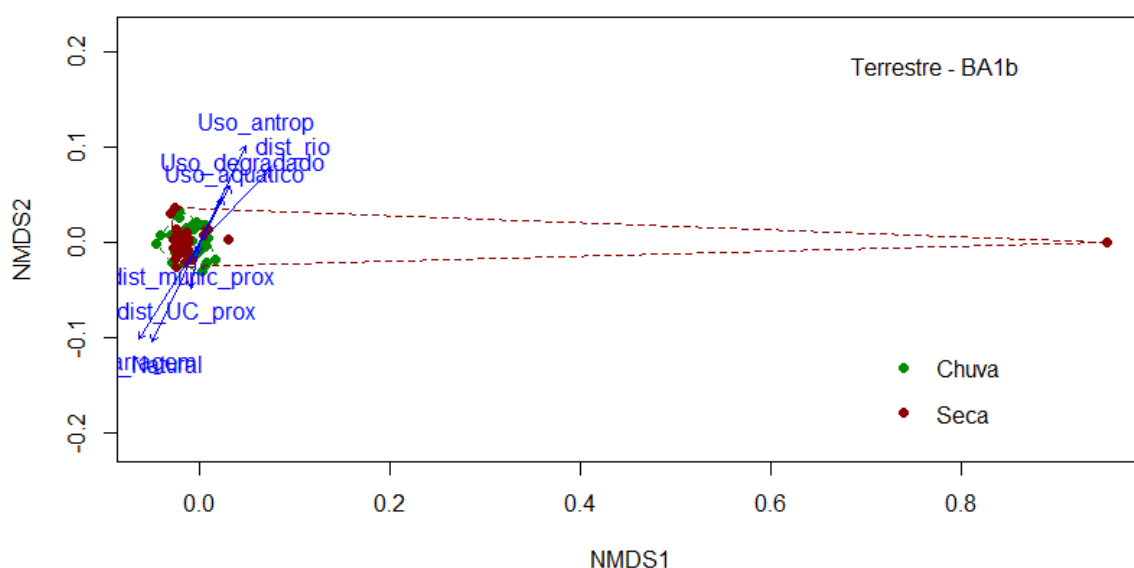


Gráfico 36. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera nas *Parcelas Terrestres* do BA1b durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de pontos referenciais.

3.2.1.4.2.3. Bloco Amostral 2 – FESD

No BA2 registramos 1.047 indivíduos de 71 espécies. Nas parcelas em Ilhas, apenas um indivíduo de *Parides anchises* (Papilionidae) foi amostrado. Nas *Parcelas Ripárias* foram amostradas 37 espécies e 328 indivíduos, a maior parte em áreas de pasto e cultivo (32 spp., 313 ind.). A espécie *Cissia eous* foi dominante (N = 179; 57%) em áreas de pasto e cultivo nas *Parcelas Ripárias*. Nas *Parcelas Terrestres*, foram registradas 59 espécies e 718 indivíduos distribuídos em diferentes fitofisionomias, a maior parte na Floresta Estacional Semidecidual (58 spp., 314 ind.) e nas vegetações abertas ou em regeneração (37 spp., 303 ind.). Na FESD a espécie mais abundante foi *Pharneuptychia pharnabazos* (N = 109; 35%), enquanto nas vegetações abertas e áreas de regeneração foi *Paryphthimoides poltys* (N = 91; 30%). Para o BA2, *Cissia eous* representou 20% das borboletas, *Paryphthimoides poltys* (18%) e *Pharneuptychia pharnabazos* (12%). As demais 68 espécies do BA representaram, em conjunto, 50% dos espécimes coletados com abundância relativa inferior a 5% cada (**Gráfico 37**).

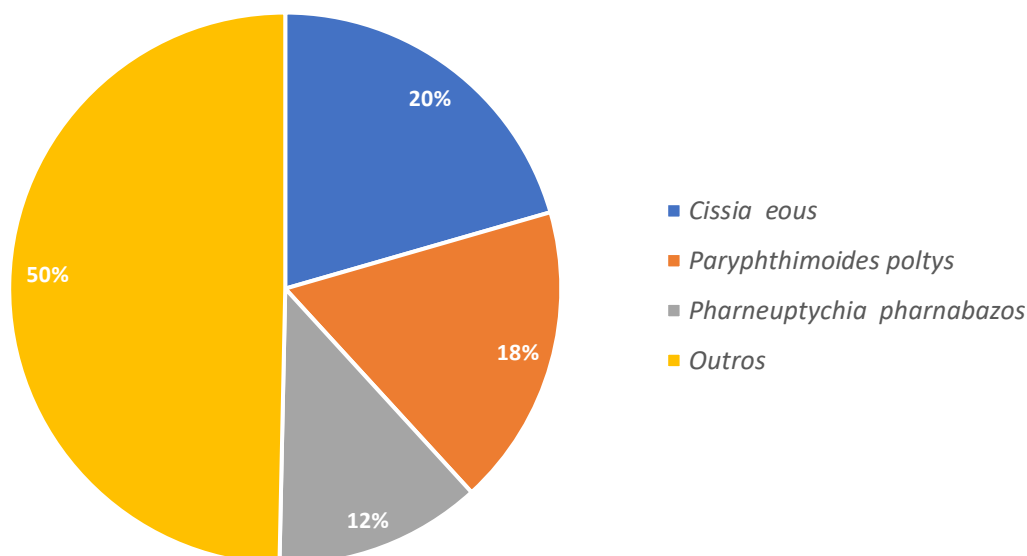


Gráfico 37. Abundância relativa de Lepidoptera no BA2 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Outros*: 68 espécies com abundância relativa percentual inferior a 5%.

As espécies dominantes na comunidade apresentam preferência por habitat abertos, indicando a presença desses ambientes no BA2: *Cissia eous*, que ocorre em diferentes formações florestais inclusive florestas secundárias e bordas de floresta (ZACCA et al., 2018), *P. poltys*, comum em ambientes abertos com dominância de gramíneas (**Quadro 32**), *P. pharnabazos*, comum em campos rupestres e florestas secas (HENRIQUES et al., 2019). Nenhuma destas espécies ocorreu próximo ao rio Doce, exceto um indivíduo de *Parides anchises*.

Não houve correlação entre a riqueza de espécies de borboletas nas *Parcelas Terrestres* e *Parcelas Ripárias* em função da distância em relação ao rio Doce. Para as *Parcelas Ripárias*, as variáveis de *uso antrópico* ($R^2 = -0,97$; $p < 0,05$) juntamente com a distância em relação ao centro urbano mais próximo ($R^2 = 0,96$; $p < 0,05$) e à barragem de Fundão ($R^2 = -0,97$; $p < 0,05$) foram as variáveis que explicaram as variações entre a composição de espécies de borboletas. Houve pouca diferenciação entre as composições encontradas na estação chuvosa e seca (**Gráfico 38A, Tabela 6**).

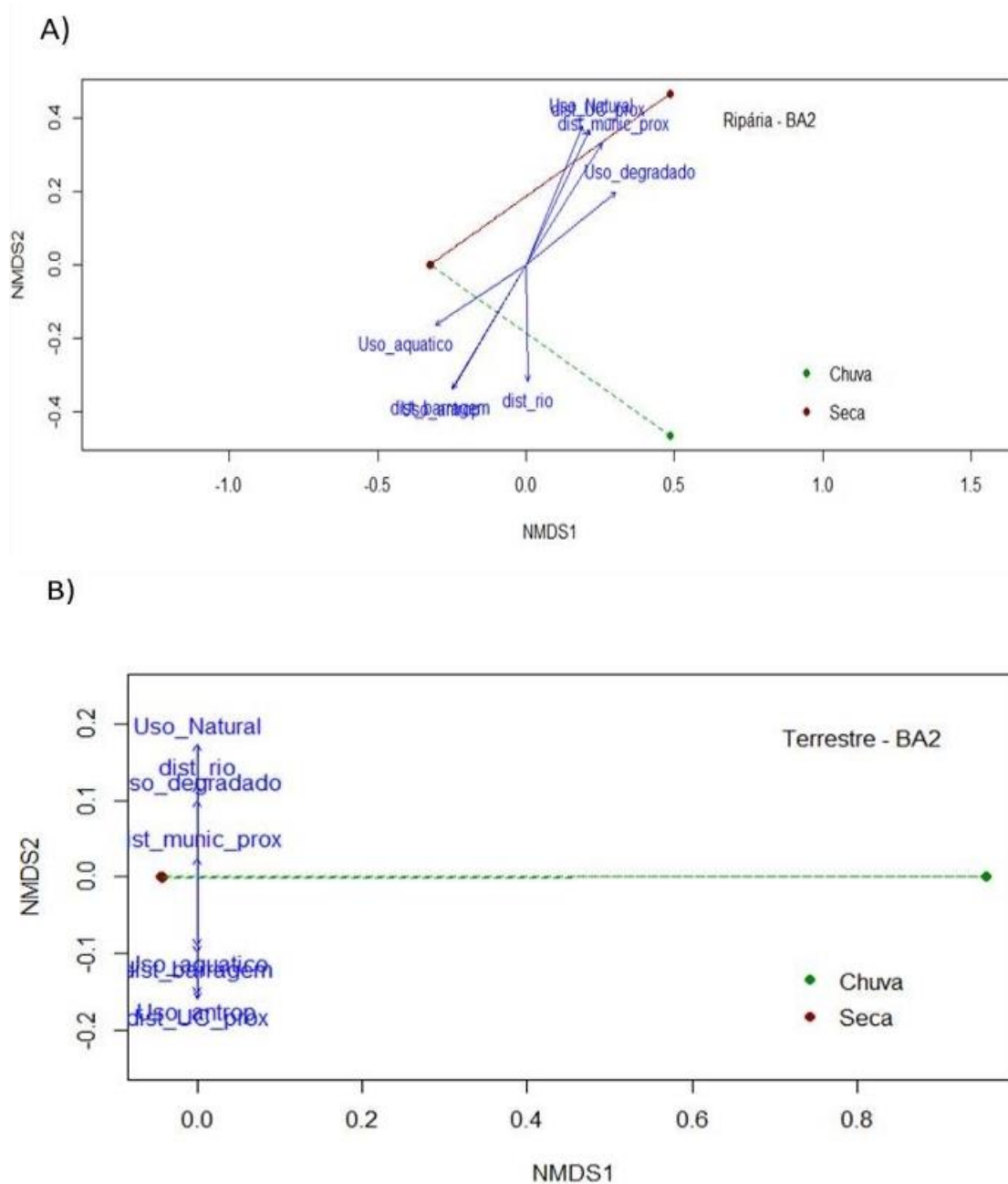


Gráfico 38. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera em pontos amostrados nas *Parcelas Ripárias* (A) e *Parcelas Terrestres* (B) durante duas campanhas no BA2, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de pontos referenciais.

Para as *Parcelas Terrestres*, as variáveis de uso do solo, especificamente *uso natural* ($R^2 = 0,35$; $p < 0,01$) e *uso antrópico* ($R^2 = 0,7$; $p < 0,05$), e a distância em relação à UC

mais próxima ($R^2 = 0,30$; $p < 0,05$) explicaram as diferenças na composição (**Gráfico 38B, Tabela 5**), indicando a importância do grau de conservação ambiental na estruturação da comunidade de borboletas, em especial a presença do Parque Estadual Sete Salões.

No BA2, até o momento, as espécies de borboletas responderam ao tipo vegetacional e ao uso do solo, não demonstrando tendência de resposta em relação à distância em relação ao leito do Rio Doce, não sendo possível inferir sobre o impacto do rompimento da barragem.

3.2.1.4.2.4. Bloco Amostral 3 – FESD

No BA3 registramos 4.013 borboletas pertencentes a 126 espécies. Nas *Parcelas Ripárias* foram amostradas 94 espécies e 1.522 indivíduos, a maior parte registrada em floresta densa (78 spp., 823 ind.) e nas vegetações abertas/regeneração (51 spp., 541 ind.). Nas *Parcelas Terrestres*, a riqueza foi de 104 espécies e 2.491 indivíduos, a maior parte também registrada na floresta densa (102 spp., 2.471 ind.). Nestas duas abordagens a espécie mais abundante foi *Eunica maja*, tanto na floresta densa das *Parcelas Ripárias* e *Terrestres*, quanto na vegetação aberta/regeneração das *Parcelas Ripárias*, representando 60% da amostra no BA *Paryphthimoides poltys*, *Taygetis laches* e *Taygetis virgilia* representaram 5%, 3% e 3% das borboletas, respectivamente. As demais espécies, 122 táxons, apresentaram abundância relativa de 29% apenas (**Gráfico 39**).

Nas *Parcelas Ripárias* no PERD *E. maja* se manteve dominante, enquanto nas *Ilhas* a espécie *P. poltys* foi dominante durante a estação seca (58% da abundância e representativa na estação chuvosa - 30%; **Quadro 32**), indicando um ambiente mais aberto, corroborado pela pequena área basal e densidade de plantas nesta área (**APÊNDICES 11, 12 e 13**)

A riqueza de espécies se correlacionou positivamente com a distância em relação ao rio Doce apenas nas *Parcelas Ripárias* durante a estação seca ($\text{PseudoR}^2 = +0,17$; $p < 0,05$; **Gráfico 40, Tabela 4**) e nas *Parcelas Terrestres* durante a estação chuvosa ($\text{PseudoR}^2 = +0,17$; $p < 0,05$). Não está claro quais fatores podem estar relacionadas ao incremento na riqueza de espécies em diferentes abordagens em apenas uma estação do ano.

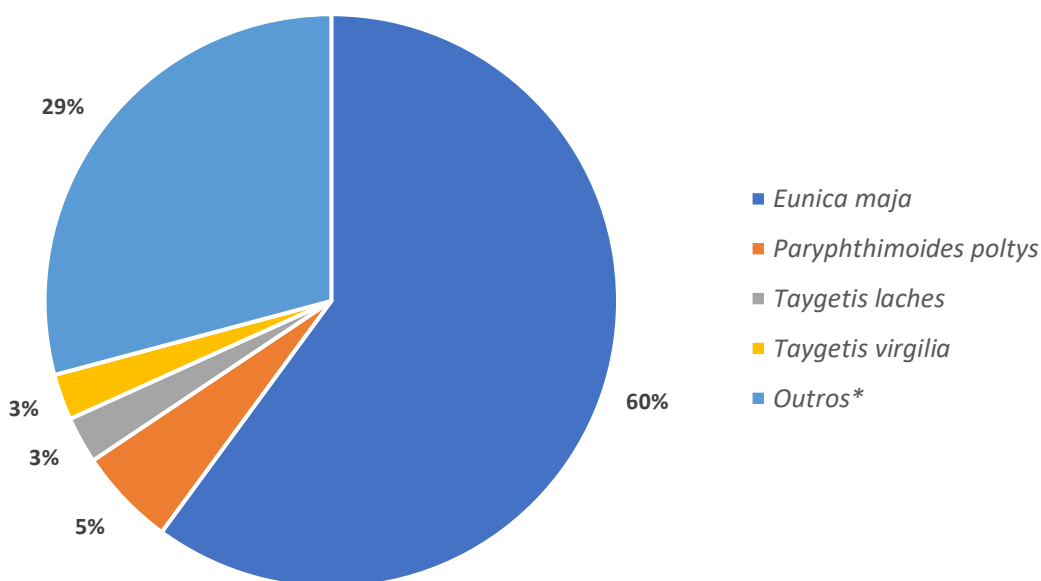


Gráfico 39. Abundância relativa de Lepidoptera no BA3 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Outros*: 122 espécies com abundância relativa percentual inferior a 2%.

O NMDS demonstrou que há sobreposição de parte composição de espécies das estações chuvosa e seca (**Gráfico 41**). Os fatores que explicaram as diferenças na composição de espécies entre as UA em ambas as abordagens, *Parcelas Ripárias* e *Parcelas Terrestres*, foram o uso do solo, especificamente *uso antrópico* (*ripárias*: $R^2 = 0,54$; $p < 0,01$; *terrestres*: $R^2 = 0,40$; $p < 0,01$) e *uso natural* (*ripárias*: $R^2 = 0,46$; $p < 0,01$; *terrestres*: $R^2 = 0,28$; $p < 0,05$; **Tabela 5**). Em relação à distância de pontos referenciais, para as *Parcelas Ripárias*, apenas a distância da barragem ($R^2 = 0,57$; $p < 0,001$) influenciou a composição da fauna de borboletas, enquanto para as *Parcelas Terrestres*, foram as distâncias em relação à barragem ($R^2 = 0,56$; $p < 0,01$), ao município mais próximo ($R^2 = 0,33$; $p < 0,01$) e à UC mais próxima ($R^2 = 0,30$; $p < 0,05$; **Tabela 6**). Os resultados do NMDS demostram tanto a importância do uso do solo, quanto da proximidade do Parque Estadual do Rio Doce na composição da fauna de borboletas das *Parcelas Terrestres*.

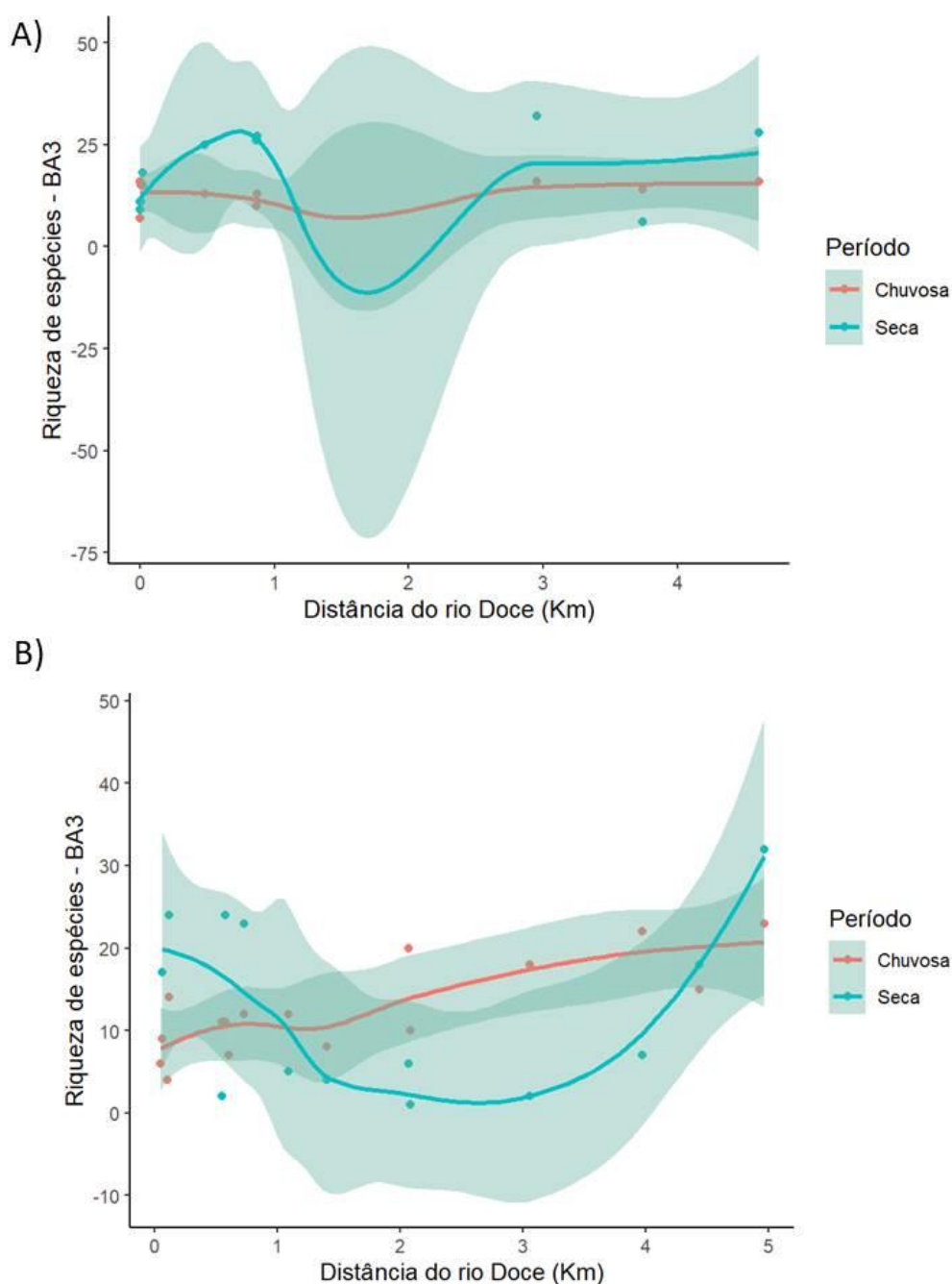
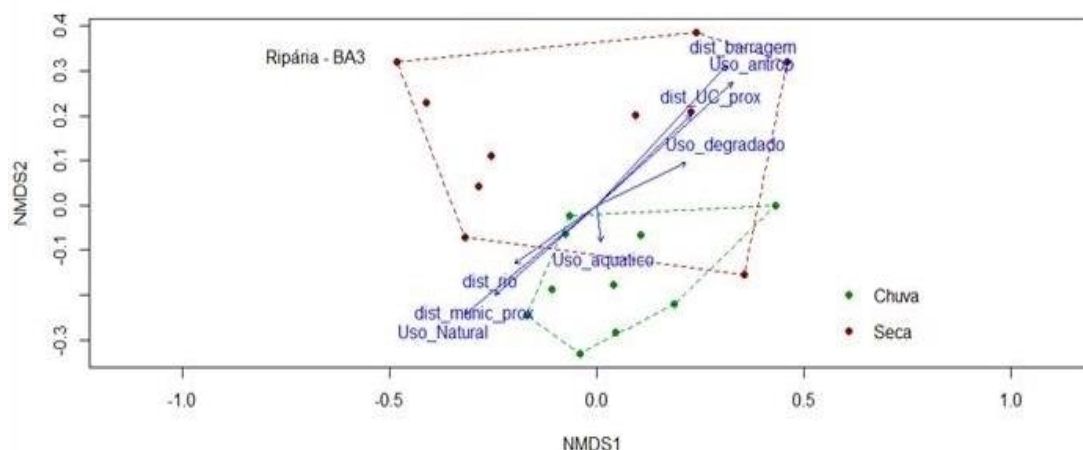


Gráfico 40. Relação entre a riqueza de espécies de Lepidoptera e a distância em relação ao rio Doce. Pontos amostrados no BA3 durante as duas campanhas para *Parcelas Ripárias* (A) e *Parcelas Terrestres* (B) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

A)



B)

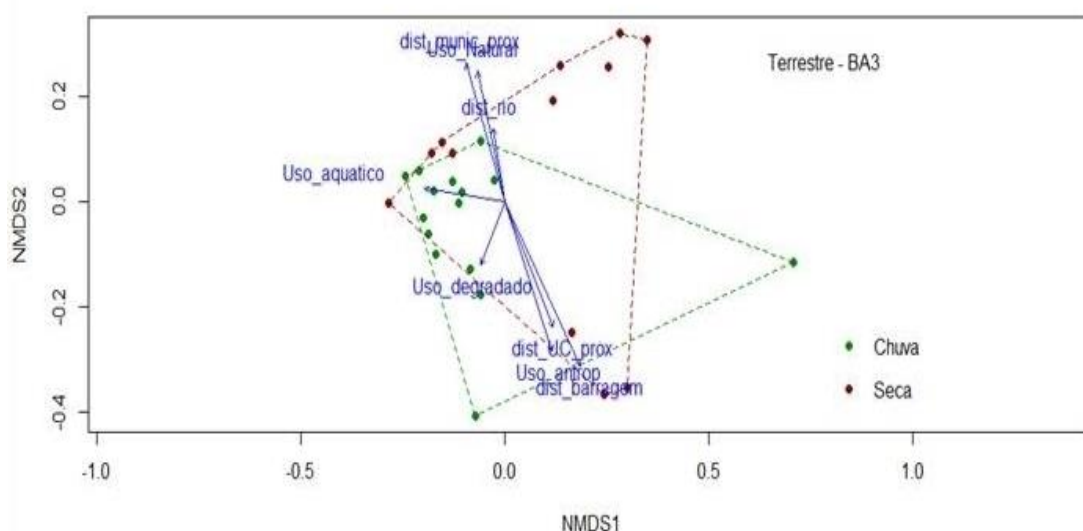


Gráfico 41. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera em pontos amostrados nas *Parcelas Ripárias* (A) e *Parcelas Terrestres* (B) durante duas campanhas no BA3, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de pontos referenciais.

3.2.1.4.2.5. Bloco Amostral 4 – FESD

No BA4 registramos 84 espécies e 848 indivíduos. Nas *Parcelas Ripárias* foram registradas 48 espécies e 331 indivíduos, a maior parte amostrada na floresta densa (31 spp., 172 ind.), seguida da vegetação aberta/regeneração (24 spp., 101 ind.). Nas

Parcelas Terrestres foram registradas 69 espécies e 517 indivíduos, a maioria amostrada nas áreas de floresta nativa mesclada com Eucaliptos (49 spp., 232 ind.). A espécie mais abundante foi *Cissa eous* (12%), seguida de *Paryphthimoides poltys* (11%), *Taygetis laches* (7%) e *Gordatiana muscosa* (5%). *Morpho helenor*, *Capronnieria galesus*, *Pharneuptychia* sp1, *Yphthimoides straminea* apresentaram abundância similar, com 4% dos indivíduos cada. As demais espécies representaram 49% da abundância total (**Gráfico 42**).

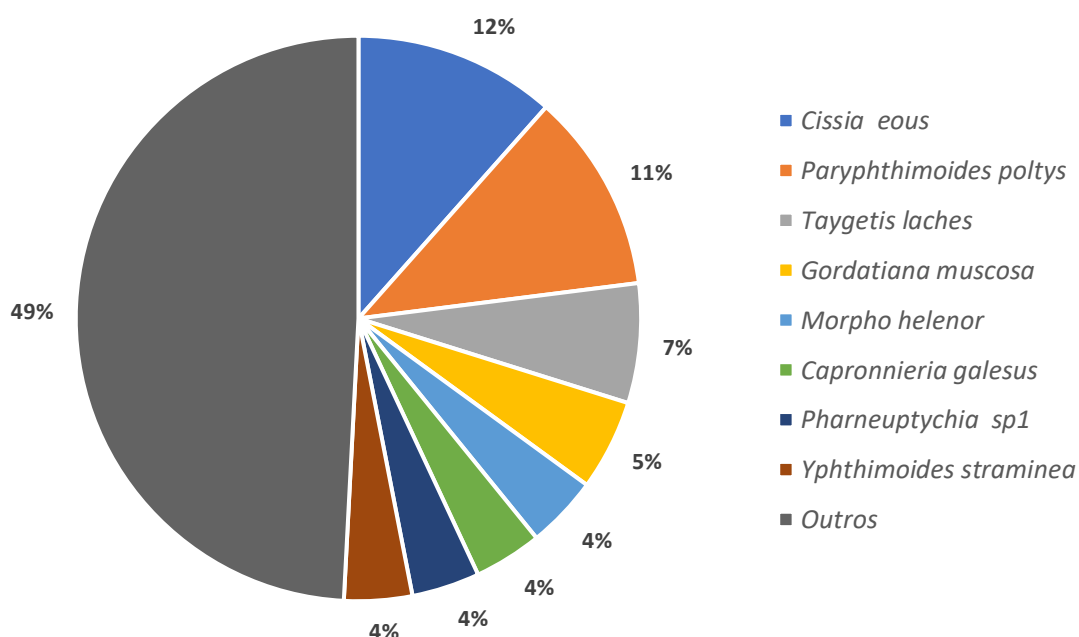


Gráfico 42. Abundância relativa de Lepidoptera no BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Outros*: 76 espécies com abundância relativa percentual inferior a 4%.

Na estação seca não foi amostrada nenhuma espécie de borboleta nas áreas próximas aos cursos d'água. Enquanto na estação chuvosa, as espécies *C. eous* e *P. poltys* foram as mais abundantes nos cursos d'água (distância = 0), correspondendo a 41% e 21%, respectivamente, da amostra nessas áreas. Considerando que no BA4 houve supressão da vegetação nativa como consequência do rompimento da barragem, é possível que a dominância destas espécies de borboletas esteja relacionada a recolonização por gramíneas próximo ao rio Doce, pois espécies da tribo Satyriini utilizam gramíneas como

planta hospedeira e se tornam numerosas em ambientes abertos e perturbados (BORDIN et al., 2019). Apenas a riqueza de espécies das *Parcelas Terrestres*, durante a estação chuvosa, correlacionou-se positivamente com a distância em relação ao rio Doce ($PseudoR^2 = 0,19$, $p < 0,05$; **Gráfico 43, Tabela 4**). Para a estação seca e *Parcelas Ripárias* não houve correlações significativas.

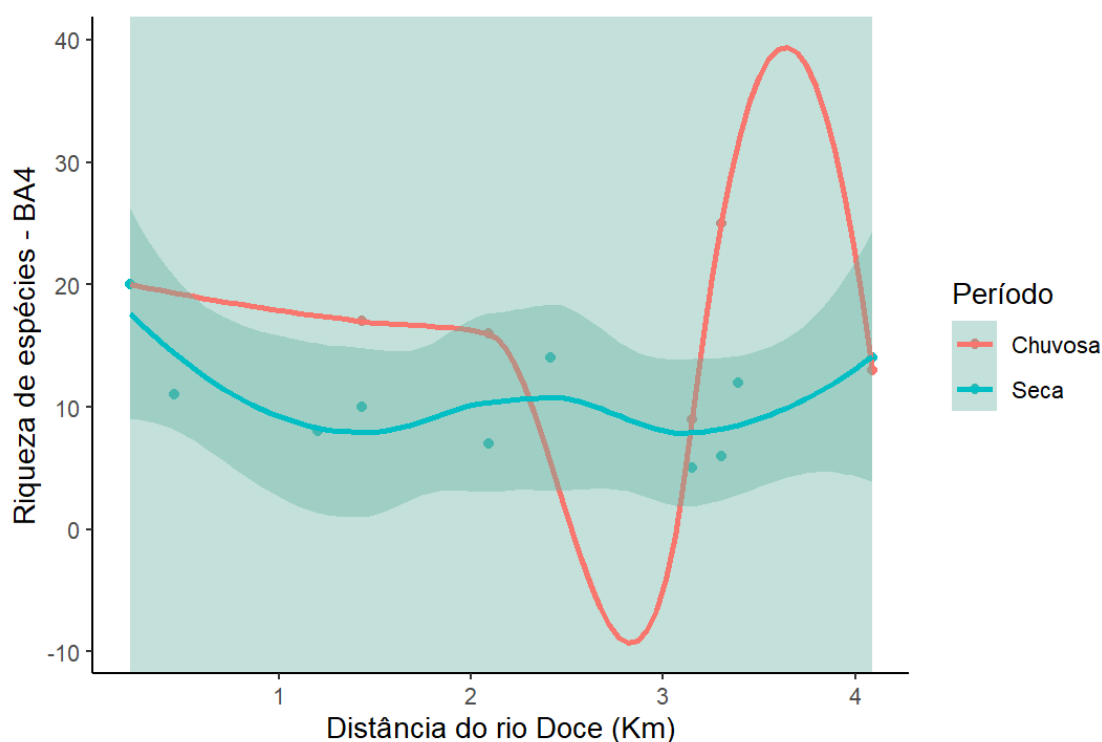


Gráfico 43. Relação entre a riqueza de espécies de Lepidoptera e a distância do rio Doce. Pontos amostrados nas *Parcelas Terrestres* do BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

A composição da fauna de borboletas diferiu entre as estações seca e chuvosa, formando dois grupos distintos. As variáveis de uso de solo, especificamente *uso antrópico* e *uso degradado* ($R^2 = 0,37$; $p < 0,05$ e $R^2 = 0,47$; $p < 0,05$, respectivamente) e *uso natural* ($R^2 = 0,54$; $p < 0,01$) e *uso aquático* e ($R^2 = 0,53$; $p < 0,01$), explicaram as diferenças na composição de espécies nas *Parcelas Terrestres*, assim como a distância em relação ao município mais próximo e à barragem ($R^2 = 0,50$; $p < 0,05$ e $R^2 = 0,42$; p

< 0,05, respectivamente; **Gráfico 44, Tabela 5**). Para as *Parcelas Ripárias* os resultados não foram significativos (**Gráfico 44, Tabela 6**).

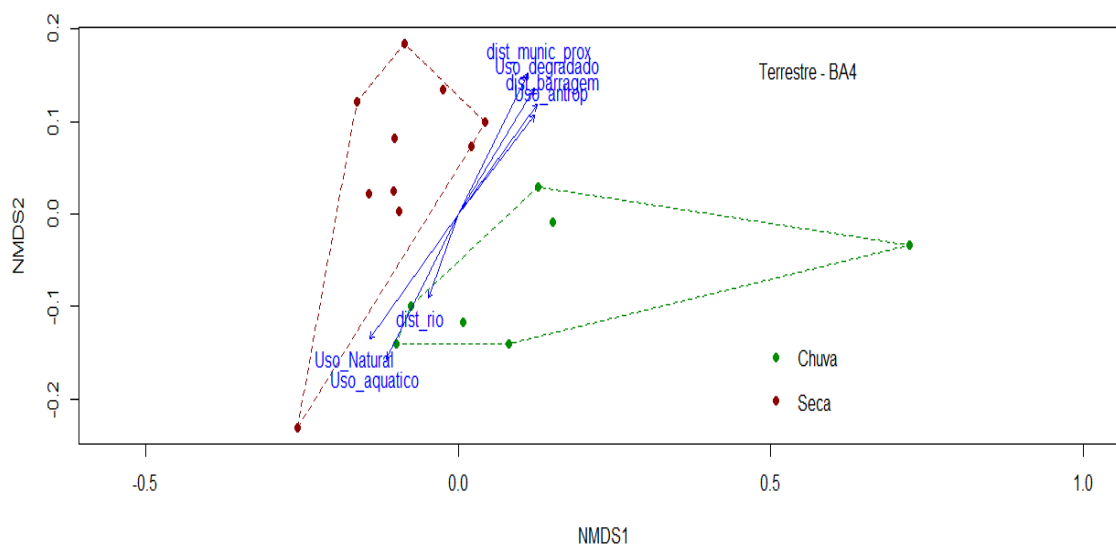


Gráfico 44. Ordenação por NMDS da composição de espécies de Lepidoptera em pontos amostrados nas *Parcelas Ripárias* (A) e *Parcelas Terrestres* (B) durante duas campanhas no BA4, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Eixos referentes às variáveis ambientais preditoras, uso do solo e distância de pontos referenciais.

3.2.1.4.3. Metais pesados

Para Lepidoptera não encontramos valores de referência para limites críticos (HC5). Devido ao número insuficiente de espécimes de uma mesma espécie em parcelas próximas e distantes do leito do Rio Doce na primeira campanha, os blocos BA1a e BA4 não foram analisados neste primeiro momento. As espécies *Paryphthimoides poltys* e *Eunica maja* do BA2 e BA3 seguiu a mesma tendência de ordem na concentração dos metais pesados descrito para outras espécies de Lepidoptera (**Quadro 33, Quadro 34**) (NIEMINEN; NOURTEVA; TULISALO, 2001; VAN SAN; SPITZER, 1993): Zn>Fe>Cu>Mn>As≈Pb≈Cd≈Cr≈Hg, com exceção da concentração de Manganês (Mn) que foi superior ao Cobre (Cu) na espécie *E. maja*. Todas as amostras de borboletas analisadas do BA2 e BA3 apresentaram concentrações de metais pesados inferiores às encontradas nas amostradas de solo das parcelas correspondentes. A espécie

Pareuptychia ocirrhoe do BA1b apresentou o perfil de concentrações de metais pesados distinto do encontrado para as outras duas espécies: Fe>Zn>Mn>Pb>Cu>Cr>Cd>As>Hg. Além disso, as concentrações de Zinco, Chumbo, Cádmio e Mercúrio nas amostras de borboletas do BA1b foram superiores às concentrações encontradas nas amostras de solo das parcelas correspondentes. Contudo, estes elementos no solo das parcelas do BA1b não apresentaram concentrações acima do limite de prevenção da resolução do CONAMA nº 420 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2009) para parâmetros humanos e dos limites críticos de concentração de solos para invertebrados (DE VRIES; RÖMKENS; SCHÜTZE, 2007) e nem sequer superior às concentrações encontradas nas parcelas do BA2 e BA3.

Todas as três espécies de borboletas apresentaram Zinco em alta concentração, todavia este é um metal essencial (micronutriente) e geralmente é encontrado em maior concentração nos tecidos de Lepidoptera (NIEMINEN; NOURTEVA; TULISALO, 2001; VAN SAN; SPITZER, 1993). Altas concentrações de Chumbo e Cádmio podem ser prejudiciais para algumas espécies de Lepidoptera (KAFEL et al., 2014a; PHILIPS; KOBIELA; SNELL-ROOD, 2017), já que estes elementos são metais não essenciais, ou seja, não são requeridos para o funcionamento biológico normal e podem se tornar tóxicos, porém algumas espécies têm adaptações que permitem tolerar e acumular estes metais em seus tecidos (GALL; BOYD; RAJAKARUNA, 2015b).

É possível que *P. ocirrhoe*, notadamente abundante no BA1b, acumule estes elementos em seus tecidos e, ao ser predada por variados organismos, pode desempenhar papel na transferência destes metais para os níveis tróficos superiores. É provável que as plantas hospedeiras de *P. ocirrhoe*, espécies do gênero *Setaria* (FREITAS; BARBOSA; MARÍN, 2016), acumulem estes metais pesados, e os transfiram para as lagartas (fase imatura), considerando que a bioacumulação e transferência ocorre através das cadeias tróficas (GALL; BOYD; RAJAKARUNA, 2015a), aumentando a concentração de um nível trófico para o seguinte, como observado por ZHANG et al. (2009) para Pb, Cd e Hg no sistema solo-planta e por LINDQVIST (1992) Zn, Cd e Cu no sistema planta-lagarta.

Quadro 33. Concentração de metais pesados nos espécimes de borboletas coletados nos Blocos Amostrais 1b, 2 e 3 e no solo das parcelas correspondentes referente à primeira campanha (estação chuvosa), analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Em destaque os metais com maior concentração nas borboletas analisadas em comparação à concentração do solo. Para Lepidoptera não há valores de referência de limite crítico HC5.

Bloco Amostral	Metal	Espécie analisada	Mín. mg*kg ⁻¹	Mediana	Máx. mg*kg ⁻¹	Solo - mg*kg ⁻¹ (média – parcelas)
BA1b	Arsênio	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	0,619	0,619	0,619	23,6
	Cádmio	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	1,21	1,21	1,21	0,1
	Chumbo	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	50,6	50,6	50,6	23,7
	Cobre	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	4,55	4,55	4,55	43,8
	Cromo	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	1,23	1,23	1,23	105
	Ferro	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	1850	1850	1850	70600
	Manganês	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	57,4	57,4	57,4	1370
	Mercúrio	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	0,374	0,374	0,374	0,164
	Zinco	<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	121	121	121	58,5
BA2	Arsênio	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,14	<0,14	<0,14	1,67
	Cádmio	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,14	<0,14	<0,14	0,1
	Chumbo	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,14	<0,14	<0,14	5,06
	Cobre	<i>Paryphthimoides poltys</i>	13,4	14,95	16,5	27,6
	Cromo	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,14	<0,14	<0,14	106
	Ferro	<i>Paryphthimoides poltys</i>	18,8	27,1	35,4	39400
	Manganês	<i>Paryphthimoides poltys</i>	1,72	2,87	4,02	324
	Mercúrio	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,14	<0,14	<0,14	0,141
	Zinco	<i>Paryphthimoides poltys</i>	40,4	58,6	76,8	32,6
BA3	Arsênio	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,14	0,1725	<0,14	13,55
	Cádmio	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,2	0,1725	<0,18	0,1
	Chumbo	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,2	0,1725	<0,18	13,36

Bloco Amostral	Metal	Espécie analisada	Mín. mg*kg ⁻¹	Mediana	Máx. mg*kg ⁻¹	Solo - mg*kg ⁻¹ (média – parcelas)
BA3	Cobre	<i>Paryphthimoides poltys</i>	16,8	19,025	22,2	30,76
	Cromo	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,2	0,1725	<0,18	85,73
	Ferro	<i>Paryphthimoides poltys</i>	36,2	42,7	53	87066
	Manganês	<i>Paryphthimoides poltys</i>	2,99	3,41	4,28	707,7
	Mercúrio	<i>Paryphthimoides poltys</i>	<0,2	0,1725	<0,18	0,132
	Zinco	<i>Paryphthimoides poltys</i>	73,9	97,925	129	51,93
	Arsênio	<i>Eunica maja</i>	<0,12	0,1852	0,256	7,59
	Cádmio	<i>Eunica maja</i>	<0,12	0,1584	0,242	0,1
	Chumbo	<i>Eunica maja</i>	<0,12	0,14	<0,15	39,3
	Cobre	<i>Eunica maja</i>	19,8	23,36	25,9	25,6
	Cromo	<i>Eunica maja</i>	<0,12	0,14	<0,15	88,4
	Ferro	<i>Eunica maja</i>	45,3	61,14	73,6	56550
	Manganês	<i>Eunica maja</i>	27,2	64,9	111	1012
	Mercúrio	<i>Eunica maja</i>	<0,12	0,14	<0,15	0,222
	Zinco	<i>Eunica maja</i>	70,6	77,94	86,7	78,4

Quadro 34. Concentração de metais pesados por amostra nos espécimes de borboletas, analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Todas as concentrações em mg*kg⁻¹.

Código da Amostra	Espécie	Bloco Amostral	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025773	<i>Paryphthimoides poltys</i>	BA3	0,20	0,20	0,20	17,40	0,20	39,00	2,99	0,20	86,80
8025791	<i>Paryphthimoides poltys</i>	BA2	0,14	0,14	0,14	16,50	0,14	35,40	4,02	0,14	76,80
8025793	<i>Paryphthimoides poltys</i>	BA2	0,14	0,14	0,14	13,40	0,14	18,80	1,72	0,14	40,40
8025795	<i>Paryphthimoides poltys</i>	BA3	0,14	0,14	0,14	16,80	0,14	36,20	3,19	0,14	102,00
8025799	<i>Eunica maja</i>	BA3	0,15	0,24	0,15	25,90	0,15	57,60	111,00	0,15	86,70
8025801	<i>Paryphthimoides poltys</i>	BA3	0,18	0,18	0,18	19,70	0,18	42,70	3,19	0,18	73,90
8025802	<i>Paryphthimoides poltys</i>	BA3	0,17	0,17	0,17	22,20	0,17	53,00	4,28	0,17	129,00
8025803	<i>Eunica maja</i>	BA3	0,15	0,15	0,15	25,90	0,15	62,60	60,80	0,15	79,70
8025804	<i>Eunica maja</i>	BA3	0,13	0,13	0,13	19,80	0,13	45,30	50,00	0,13	70,60
8025806	<i>Eunica maja</i>	BA3	0,12	0,12	0,12	23,30	0,12	73,60	75,50	0,12	71,60
8025808	<i>Eunica maja</i>	BA3	0,26	0,15	0,15	21,90	0,15	66,60	27,20	0,15	81,10
8025818	<i>sem id</i>	BA3	0,06	0,06	7,71	5,30	0,91	360,00	8,97	0,04	9,18
8025836	<i>sem id</i>	BA3	0,14	0,67	5,22	13,80	3,11	2040,00	53,60	0,14	49,30
8025838	<i>sem id</i>	BA3	0,16	0,16	4,73	5,05	1,59	658,00	53,70	0,49	56,90
8025840	<i>sem id</i>	BA3	0,67	1,01	1,03	4,64	1,26	613,00	51,20	0,41	47,20
8025842	<i>sem id</i>	BA3	0,12	0,17	4,67	7,57	4,11	1060,00	76,50	0,29	24,10
8025843	<i>sem id</i>	BA3	0,39	0,48	5,43	2,76	1,44	2690,00	78,00	0,18	66,20
8025844	<i>sem id</i>	BA3	0,11	0,16	9,92	6,18	1,28	1060,00	45,50	0,29	23,20
8026056	<i>sem id</i>	BA1b	0,62	1,21	50,60	4,55	1,23	1850,00	57,40	0,37	121,00
8026058	<i>sem id</i>	BA3	2,00	0,74	2,96	5,97	6,04	3170,00	160,00	0,40	32,10
8026081	<i>sem id</i>	BA3	0,27	0,20	2,69	16,30	1,60	1070,00	32,30	0,20	40,60
8026084	<i>sem id</i>	BA3	1,14	0,27	1,67	3,97	4,17	2050,00	107,00	0,20	26,70
8026092	<i>sem id</i>	BA3	0,16	0,34	6,40	3,00	3,85	2120,00	123,00	0,20	32,50

Código da Amostra	Espécie	Bloco Amostral	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercurio	Zinco
8026104	<i>sem id</i>	BA3	0,45	0,30	5,39	4,30	2,02	3670,00	85,90	0,14	123,00
8026117	<i>sem id</i>	BA3	1,55	0,40	3,07	5,75	5,65	2920,00	164,00	0,26	32,80
8026128	<i>sem id</i>	BA3	1,36	0,23	2,10	4,15	5,26	2830,00	148,00	0,14	20,80
8026130	<i>sem id</i>	BA3	0,17	0,09	19,30	6,21	0,92	1600,00	25,20	0,37	23,80
8026136	<i>sem id</i>	BA3	0,34	1,09	3,63	4,01	1,21	223,00	48,50	0,42	81,90
8026154	<i>sem id</i>	BA3	0,24	0,24	4,95	22,00	0,27	112,00	19,70	0,24	46,60

Estas diferenças no perfil de concentrações de metais pesados entre as espécies de borboletas são esperadas, já que as diferenças metabólicas associadas às características da história de vida afetam a resposta espécie-específica em relação às concentrações de metais pesados de suas plantas hospedeiras (HELIÖVAARA; VÄISÄNEN, 1990). A partir dos resultados obtidos até o momento, não é possível inferir relação entre a concentração de metais pesados nas borboletas e a contaminação de metais pesados resultantes do rompimento da Barragem do Fundão, já que as análises do solo não detectaram a presença de rejeito nos pontos amostrados e não foram observadas anomalias ou distorções em relação ao que se espera de cada classe de solo. Apesar da identificação da espécie *P. ocirrhoe* como uma possível bioacumuladora de determinados metais pesados (Pb, Cd e Hg), esta bioacumulação é, aparentemente, natural da espécie, pois não refletiu maiores concentrações desses metais no solo das parcelas analisadas. No entanto, é uma espécie de interesse para as futuras análises, pois é um táxon propenso a acumular e transferir metais pesados na cadeia trófica, e esta bioacumulação pode ser acentuada quando em plantas hospedeiras metalíferas e solos metalíferos (GALL; BOYD; RAJAKARUNA, 2015a). A bioacumulação Chumbo, Cádmio e Mercúrio em *P. ocirrhoe* pode representar um risco para aqueles predadores que são sensíveis a estes elementos, já que estes metais são tóxicos em determinadas concentrações para grande parte dos organismos. Por exemplo, a concentração de Cd em *P. ocirrhoe* (**Quadro 33**) ultrapassa o limite crítico ($HC5 = 0,40\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) para a cadeia trófica solo-insetos-pássaros proposto por DE VRIES et al. (2007).

3.2.1.4.4. Táxons de interesse para conservação

Glennia pylotis (Godart, 1819) (Pieridae) é a espécie ameaçadas de extinção registrada na **Área de Estudo**, registrada no BA1b, módulos 10T e 12T, durante a estação chuvosa. Sua coleta foi realizada pelo método de *busca ativa* por rede entomológica, pois é uma borboleta nectarívora (**Foto 7**). Esta espécie é considerada “Em Perigo-EN” e ocorre em poucas localidades de florestas de restinga no domínio da Mata Atlântica. Todas as áreas em que a espécie ocorre estão sujeitas às pressões antrópicas, e a população está severamente fragmentada (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018). Esforços direcionados são importantes para avaliar a viabilidade populacional da espécie na região e traçar estratégias de conservação.

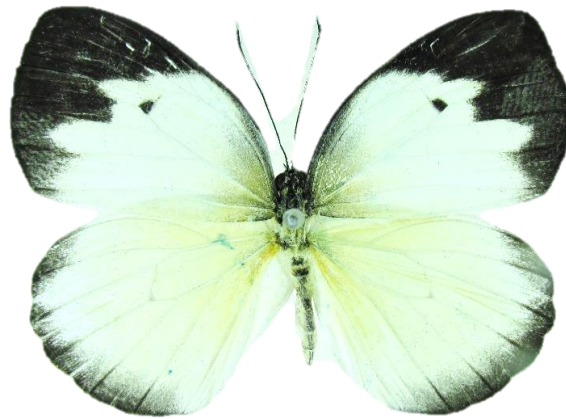
**A****B**

Foto 7. *Glennia pylotis*, vista dorsal (A), vista ventral (B), coletada durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

A potencial de ocorrência de borboletas ameaçadas de extinção na **Área de Estudo** é bem superior em comparação aos registros deste primeiro ano de estudo, pois é esperada a ocorrência de 11 espécies ameaçadas (GOLDER ASSOCIATES, 2016). O **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce**, baseado em dados secundários, registrou seis espécies ameaçadas (*A. aethesa* [EN], *H. natterei* [EN], *C. bouletti* [CR], *D. vertebralis* [CR{PEX}], *M. p. methymna* [VU], *P. p. flava* [EN]), que não foram registradas no primeiro ano, mas têm potencial de serem registradas com o decorrer do monitoramento. Também esperamos a ocorrência de outras espécies ameaçadas que ocorrem nas proximidades do rio Doce: *Parelbella polyzona* (Latreille, 1824) (EN), *Hyaliris leptalina* (C. Felder & R. Felder, 1865) (CR), *Mcclungia cymo fallens* (Haensch,

1905) (CR), *Heraclides himeros himeros* (Hopffer, 1865) (EN), *Mimoides lysithous sebastianus* (Oberthür, 1879) (VU; INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018).

Dois indivíduos de *Marpesia chiron* (Fabricius, 1775) (Nymphalidae: Cyrestinae) foram coletados no módulo 20T1p (BA3, FESD) e 12TTP (BA1b). Esta borboleta é uma espécie migratória, geralmente associada a plantas da família Moraceae (BROWN JR, 1992). *Phoebis sennae* (Linnaeus, 1758) (Pieridae: Coliadane), espécie migratória, também foi registrada, contudo em maior número de indivíduos, distribuídos nos Blocos Amostrais 2 e 3. Estes resultados destacam a importância dos habitats naturais remanescentes e UCs como corredores ecológicos e habitats para reprodução. como o Parque Estadual do Rio Doce (20T1p) e o Parque Estadual de Sete Salões (15TA1p), já que essas espécies migratórias foram registradas nestas regiões.

O levantamento de dados primários da **Área de Estudo** registrou 39 espécies potencialmente indicadoras de qualidade ambiental (**Quadro 32**). Essas espécies indicaram que a **Área de Estudo** é constituída de um mosaico de ambientes antrópicos/degradados e naturais conservados. As espécies comuns em fragmentos de vegetação aberta/regeneração, degradados ou antropizados, ou em bordas de floresta são: *Heliopetes arsalte* (Linnaeus, 1758), *Pyrgus orcus* (Stoll, [1780]), *Anartia amathea* (Linnaeus, 1758), *A. jatrophae* (Linnaeus, 1763), *Eueides aliphera* (Godart, 1819), *Hamadryas februa* (Hübner, [1823]), *Eunica maja*, *Heliconius erato phyllis* (Fabricius, 1775), *Junonia evarete* (Cramer, [1779]), *Nica flavilla* (Godart, [1824]), *Taygetis laches*, *Eurema elathea* (Cramer, [1777]). E as espécies mais comuns em interior de habitats florestais mais conservados são: *Aeria olena* (Weymer, 1875), *Archaeoprepona amphimachus* (Fabricius, 1775), *A. demophon* (Linnaeus, 1758), *Gordatiana muscosa* (Butler, 1870), *Hamadryas arete* (Doubleday, 1847), *Hypothyris ninonia* (Hübner, [1806]), *Ithomia agnosia* Hewitson, 1855, *I. drymo* Hübner, 1816, *Myscelia orsis*, *Zaretis itys* (Cramer, [1777]). Destaca-se a ocorrência de *Ypthimoides straminea* (Butler, 1867) em Floresta Estacional Semidecidual no domínio da Mata Atlântica, pois é uma espécie, até o momento, considerada endêmica do Cerrado (PINHEIRO et al., 2010), portanto deve ser foco de atenção para um melhor entendimento da sua distribuição geográfica regional.

3.2.1.5. Conclusões e recomendações

A partir das análises dos Modelos Lineares Generalizados (GLM) foi possível observar que à medida que se distancia da barragem do Fundão, as correlações entre riqueza de espécies e distância em relação ao rio Doce se modificam. Para os blocos amostrais mais próximos, BA4 e BA3, à montante e à jusante do reservatório de Candonga, respectivamente, a correlação foi positiva, ou seja, à medida que se distancia das margens do rio Doce aumenta-se a riqueza de espécies. No BA2 não houve correlação. Enquanto nos blocos amostrais mais distantes, BA1a e BA1b, a correlação foi negativa, ou seja, à medida que se aproxima do rio Doce aumenta-se a riqueza de espécies. Estes resultados podem ser um indicativo de que a perda de habitat terrestre e erosão nas margens do rio Doce no BA4 e a erosão e deposição de sedimentos fluviais no BA3 (ver GOLDER ASSOCIATES, 2016) podem ter afetado negativamente a riqueza de espécies de borboletas próximo às margens do rio Doce e áreas adjacentes aos cursos d'água afetados nestas áreas. Através do monitoramento será possível verificar se este padrão se mantém ao longo do tempo ou se haverá uma tendência ao aumento da riqueza de espécies de borboletas próximas ao leito do rio devido a recuperação das áreas afetadas. Desta forma, recomenda-se estudos de estrutura de comunidade de borboletas direcionados especificamente para as áreas impactadas do BA4, em especial aquelas que fazem parte do programa “25 - Revegetação, RIPRAP e outros métodos” e “26 - Recuperação de áreas de preservação permanente (APPS)”, com o intuito de avaliar a reestruturação de comunidades em áreas de restauração e o êxito destes programas.

Tão importante quanto a riqueza de espécies é a composição da comunidade, já que borboletas apresentam relação estreita com o tipo e qualidade do habitat (BRITO et al., 2014). Neste primeiro ano de avaliação rápida, as variáveis preditoras que explicaram o ordenamento da composição de espécies para todos os BA foram o *uso antrópico* e/ou *uso degradado*, o *uso natural* e a *distância da barragem*. A paisagem da **BHrD**, de acordo com a série histórica de 1985 a 2017, sempre sofreu com a fragmentação das áreas naturais, correlacionada a sucessivos aumentos de áreas de agropecuária, áreas não vegetadas, com uma tendência geral ao aumento de bordas e, conseqüentemente, do efeito de borda nos fragmentos naturais. Os BA4 e BA3 foram os que tiveram tendência a diminuição da cobertura florestal, enquanto nos BA2 e BA1 houve tendência ao aumento destas áreas devido à regeneração da vegetação. Neste contexto, era

esperado que as variáveis de uso do solo fossem os fatores mais importantes na determinação da composição de espécies de borboletas na **Área de Estudo**.

A distância da barragem do Fundão também foi uma variável explicativa comum a todos os BA, ou seja, para um mesmo bloco houve distinção da fauna de borboletas mais próximas das mais distantes da barragem (**Quadro 35**). No entanto, a partir destes resultados não é possível concluir que o efeito da distância da barragem seja um indicativo de impacto do rompimento da barragem, pois existe um gradiente fitofisionômico e altitudinal ao longo do rio Doce e é típico das regiões tropicais, inclusive na Mata Atlântica, um alto “turnover” de espécies entre localidades (LEWINSOHN; FREITAS; PRADO, 2005). Entretanto, é incontestável que a perda dos remanescentes secundários de Mata Atlântica (22%) e ecossistemas naturais (29%), especialmente campo sujo e floresta densa, à montante do reservatório de Candonga (BA4) após o rompimento da barragem, impactou negativamente as borboletas com especificidade de habitat, em especial aquelas raras e/ou ameaçadas de extinção, já que a perda de habitat é uma das principais ameaças às espécies de borboletas (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018, cap. Borboletas).

Quadro 35. Resumo quantitativo das distâncias em relação ao rio Doce e variáveis de uso e cobertura do solo de influência para Lepidoptera durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Abordagem	BA4	BA3	BA2	BA1b	BA1a
Distância do rio Doce (m)					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	1.000	-	-	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	2.000	1.000	-	1.000	5.000
Uso e cobertura do solo - Composição de espécies					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	Uso antrópico Uso natural Barragem	Uso antrópico Município Barragem		
<i>Parcelas Terrestres</i>	Uso natural Uso antrópico Uso degradado Uso aquático Município Barragem	Uso antrópico Uso natural Município Barragem UC	Uso antrópico Uso natural UC	Uso natural Uso antrópico Uso degradado	Uso natural Uso antrópico Uso aquático UC Rio Doce Município

Legenda: Município – distância do município mais próximo; Barragem – distância da barragem de Fundão; rio Doce – Distância do rio Doce; UC – Distância para a UC mais próxima; Outros detalhes no **Volume I, Item 5.10**, e **Quadro 6**.

Para BA3, BA2 e BA1a, a presença das UCs Parque Estadual do Rio Doce, Parque Estadual Sete Salões e Reserva Biológica de Comboios, respectivamente, foram fatores determinantes da composição de espécies, indicando a importância destas áreas para conservação das espécies de borboletas que requerem ambientes mais preservados. O conhecimento das comunidades de borboletas das UCs em bom estado de conservação é fundamental para termos uma referência da provável estruturação da comunidade pretérita ao rompimento da barragem.

A dominância das espécies *P. eous* e *P. poltys* próximo ao leito do rio Doce (distância = 0) nas áreas diretamente impactadas do BA4 requer atenção, pois são espécies favorecidas em ambientes perturbados com predominância de gramíneas. Desta forma a dominância destas espécies, aparentemente, é uma consequência do impacto do rompimento da barragem, devido a supressão de vegetação florestal e posterior recolonização por gramíneas. Portanto, é especialmente importante avaliar nas áreas impactadas do BA4 a frequência dessas espécies ao longo do tempo e comparar com a áreas não impactadas, que possuem a mesma fitofisionomia das áreas impactadas antes do rompimento, na mesma região.

Em relação aos metais pesados, por enquanto, não foi possível determinar se houve alguma contaminação de metais pesados nas espécies de borboletas e se alguma espécie esteve susceptível à contaminação em consequência do rompimento da barragem e se houve aumento da tolerância devido à exposição às maiores concentrações de metais pesados anteriormente (KAFEL et al., 2014b; ZHOU et al., 2012), logo após a deposição de rejeitos, pois os resultados ainda são incipientes. Além disso, as análises de solo não detectaram a presença de rejeito nos pontos amostrados e não foram observadas anomalias ou distorções em relação ao que se espera de cada classe de solo, não indicando, até o momento, contaminação em consequência do rompimento da barragem. Para entendermos como as concentrações de metais pesados de uma mesma espécie de borboleta varia em função da localidade, é necessário, durante o monitoramento, analisarmos um maior número de amostras de borboletas originárias de parcelas com diferentes distâncias em relação ao rio Doce e diferentes perfis de metais pesados no solo de cada Bloco Amostral, principalmente no BA4, nas áreas onde houve deposição da lama de rejeitos sobre o solo. Neste contexto, os resultados das análises de metais pesados das espécies vegetais, além das análises de solo, podem nortear a definição de espécies de borboletas e parcelas de origens a serem analisadas nas futuras análises. Por ora, a espécie *P. ocirrhoe* é uma espécie

relevante para continuarmos a avaliação de contaminação, acumulação e transferência de metais pesados entre níveis tróficos (cadeias alimentares) através de uma análise mais detalhada das redes de interações e da concentração de metais em cada nível trófico.

As espécies de borboletas mais restritas aos fragmentos florestais, com baixa capacidade de dispersão e, portanto, mais susceptíveis ao processo de fragmentação, são aquelas ideais para as análises genéticas para verificar o isolamento e a viabilidade populacional ao longo do rio Doce. Para que tenhamos um número de amostras suficiente, é necessário que as espécies selecionadas sejam abundantes e que ocorram em, praticamente, todos os blocos amostrais. Assim, as espécies mais indicadas, com base nos dados que temos até o momento, são *Myscelia orsis*, *Taygetis virgilia*, *Archaeoprepona demophon*. Todavia, com as novas amostragens do monitoramento, outras espécies podem ser indicadas e sejam, inclusive, mais adequadas para responderem as questões referentes à genética populacional.

3.2.1.5.1. Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento

Em relação às perguntas principais e direcionadoras do Programa de Biodiversidade, propostas no Parecer Técnico nº 01/2017 (IBAMA-COREC, 2017a), foi possível avaliar quais perguntas são factíveis de serem respondidas a partir da Avaliação Ecológica Rápida de Lepidoptera, quais perguntas necessitam de mais dados para serem respondidas e quais não são factíveis de serem respondidas pela metodologia empregada:

- 1) *Qual o impacto do rompimento da barragem sobre as espécies da fauna terrestre e aquática?*

Apesar da falta de informação pretérita em relação à comunidade de borboletas nas áreas afetadas e adjacentes, os resultados encontrados na avaliação rápida da comunidade de borboletas ao longo do rio Doce indicaram um efeito negativo do rompimento da barragem na riqueza de espécies no BA4 e BA3.

- 2) *Houve acumulação de metais pesados nas diferentes espécies e no solo?*

Os dados ainda são incipientes e incompletos para avaliarmos a acumulação de metais pesados resultante do rompimento da barragem nas espécies de borboletas. Nesta primeira avaliação verificamos a acumulação de alguns metais pesados na espécie *P.*

ocirrhoe no BA1b, porém esta acumulação não está relacionada à concentração de metais no solo. A ausência de amostras no BA4, assim como o baixo número de amostras oriundas de pontos amostrais com diferentes distâncias em relação ao leito do rio Doce, impede qualquer conclusão neste primeiro momento. Para que possamos responder esta pergunta, será necessário a avaliação de um maior número de amostras oriundas de diferentes pontos amostrais em um gradiente de distância em relação ao leito do rio Doce em cada BA.

3) *Até qual distância do Rio Doce a acumulação de metais pesados foi observada?*

Os dados ainda são incipientes e incompletos para esta avaliação.

4) *Como os metais pesados estão circulando nas cadeias alimentares?*

Não é possível responder esta pergunta a partir da metodologia utilizada no presente estudo. Para responde-la seriam necessários estudos específicos de concentrações de metais pesados em redes de interações tróficas. Primeiramente é necessário determinar as espécies de borboletas que são acumuladoras de metais pesados que serão estudadas e conhecer suas interações tróficas e, em seguida, verificar a concentração de metais pesados e sua bioacumulação no solo, nas plantas hospedeiras, nas lagartas e adultos, nos parasitoides e predadores. É um estudo complexo que requer uma metodologia específica.

5) *Como as taxas de ocupação das diferentes espécies são afetadas pelas distâncias de rios, bordas, estradas e ferrovias, e aspectos físicos e químicos?*

Não é possível responder esta pergunta com a metodologia de análise utilizada no presente estudo. Para responder esta pergunta, é necessário um estudo específico de ecologia de paisagem e padrões de distribuição de espécies de borboletas na **Área de Estudo**.

6) *Áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC) e aquelas fora de UC são semelhantes em termos de estrutura de comunidades ou são complementares?*

As UCs foram importantes na estruturação da composição de espécies no BA3, BA2 e BA1a. No entanto, não foram feitas análises comparativas especificamente entre UCs e áreas não protegidas, desta forma, esta pergunta não foi respondida, porém é possível respondê-la através destas análises.

7) *Como se dará a recolonização das áreas restauradas?*

Neste primeiro momento não foram realizados estudos específicos nas áreas dos programas de recuperação, assim, não foi possível responder esta pergunta. No entanto, espera-se que a recolonização aconteça primeiramente pelas espécies de habitats com predominância de gramíneas e, com o avanço da sucessão vegetal, as espécies de borboletas características de habitats mais fechados e florestais componham cada vez mais a comunidade, alterando a composição e dominância das espécies ao longo do tempo. Estudos nas áreas de recuperação são essenciais para compreendermos a recolonização e sucessão pelas borboletas.

8) *É possível detectar mudanças na composição de espécies de fauna terrestre afetadas pelo desastre?*

A composição de espécies de borboletas está intrinsecamente associada ao uso do solo e refletem o grau de conservação das áreas estudadas. É possível que o impacto do rompimento da barragem tenha favorecido a dominância das espécies características de habitats degradados, *C. eous* e *P. poltys*, nas áreas diretamente afetadas do BA4. Porém, a falta de estudos pretéritos sobre a comunidade de borboletas dificulta uma resposta concludente em relação ao rompimento da barragem de Fundão.

A maior dificuldade em responder as perguntas relacionadas aos impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre a fauna de lepidoptera é a ausência de estudos pretéritos sobre as comunidades de borboletas nas áreas atingidas e adjacentes. Sendo assim, ressalta-se a importância da inclusão de estudos de monitoramento da fauna e flora em áreas passíveis de impactos como parte de programas de monitorização ambiental em empreendimentos minerários.

3.2.2. Ordem Hymenoptera, Superfamília Apoidea, Clado Anthophila

3.2.2.1. Introdução

As abelhas, insetos da ordem Hymenoptera, compreendem hoje um grupo de ca. 20.500 espécies descritas para o mundo e dentre elas, mais de 1.700 espécies são registradas no Brasil (MICHENER, 2007; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002; SOMAVILLA et al., 2018). A riqueza de abelhas de uma localidade pode refletir a diversidade de recursos explorados pelas várias espécies em cada ambiente. Os recursos utilizados estão relacionados às necessidades reprodutivas de cada grupo de abelhas e podem ser discutidos divididos em três conjuntos principais componentes: 1) sítios ou substratos para nidificação, 2) materiais para construção de ninhos, 3) fontes de alimentos (WESTRICH, 1996). As três condições precisam estar presentes dentro da área de voo de cada abelha e as exigências dentro de cada conjunto variam enormemente entre espécies. Os sítios ou substratos de nidificação das abelhas podem ser galerias escavadas nos solos ou em madeira morta, orifícios em ocos de árvores, ninhos de formigas e cupins, dentre outros (MICHENER, 2007; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002; SOMAVILLA et al., 2018). Os materiais utilizados para construção de ninhos variam: as abelhas carpinteiras utilizam a serragem resultante da escavação da parede de seus ninhos para dividir as células crias; as Megachilinae utilizam folhas, flores e resinas vegetais (MICHENER, 2007; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002; SOMAVILLA et al., 2018). As fontes de alimentos dependem dos hábitos: as abelhas poliléticas são generalistas, outras são oligoléticas e dependem de conjuntos restritos de plantas (MICHENER, 2007; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002; SOMAVILLA et al., 2018). Em conjunto, tais fatores fazem que diferentes grupos de abelhas de uma localidade possam indicar diferentes impactos sobre o meio (WESTRICH, 1996).

As abelhas são os principais agentes polinizadores das angiospermas (MARTINS, 2013). Seu declínio populacional é alarmante e está associado à perda de habitats e ao uso de pesticidas (KEVAN, 1999; SADEGHI et al., 2012a; ZHELYAZKOVA, 2012). Além disso, as comunidades de abelhas são prejudicadas por declínio de fontes de alimento e nidificação, poluição, fragmentação dos ecossistemas e introdução de espécies exóticas (MICHENER, 2007; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002). A conservação das abelhas é tratada como meta para a conservação dos ecossistemas, pois o seu desaparecimento limitaria também grande parte dos recursos florais disponíveis (MICHENER, 2007).

Como polinizadores, são consideradas indicadores de qualidade ambiental: sua presença e abundância são usadas como *proxy* do estado de conservação dos ecossistemas. Um estudo sobre *Eufriesea violacea* mostrou que o declínio de machos é um indicativo de fragmentação florestal (GIANGARELLI et al., 2009). Outras abelhas das orquídeas foram utilizadas em estudo que mostrou que a presença de produtos químicos no ambiente interfere na busca por flores. No caso de *Euglossina*, isto foi notado na busca por essências, mas essa reação também pode aparecer em outras espécies de abelhas (HEDSTRÖM; DENZEL; OWENS, 2006).

Além disso, diversos estudos com a abelha-do-mel, *Apis mellifera*, mostram que podem acumular poluentes em seus corpos ao coletar pólen e néctar de plantas de solos poluídos. Esses poluentes podem afetar o desenvolvimento das colônias, o comportamento das abelhas e até aumentar sua taxa de mortalidade (KEVAN, 1999; SADEGHI et al., 2012a; ZHELYAZKOVA, 2012). Por isso, as abelhas são bioindicadores valiosos nas avaliações de mudanças ambientais e interferências antropogênicas.

Até os anos de 1960, o conhecimento sobre abelhas no Brasil era baseado em observações de naturalistas do início do século XX e listas de espécies sem informações precisas (KLEINERT; ETEROVIC; SANTOS FILHO, 2012). A partir daí, tiveram início os primeiros estudos usando métodos padronizados para os inventários de abelhas (CAMPOS et al., 1989; KLEINERT; ETEROVIC; SANTOS FILHO, 2012; SAKAGAMI; LAROCA; MOURE, 1967). Um dos métodos que merece destaque é o uso de essências para atrair os machos de *Euglossina*. A metodologia passou a ser utilizada nos levantamentos da melitofauna e as euglossinas que antes eram escassas e pouco conhecidas nas coleções entomológicas passaram a ser alvo prioritário dos estudos (BONILLA GOMEZ, 1999; CAMPOS et al., 1989; FARIA; MELO, 2012a; GIANGARELLI et al., 2009; NEMÉSIO; SILVEIRA, 2004; PERUQUETTI et al., 1999; ROUBIK, 1989).

Poucas espécies da Melitofauna fazem parte atualmente da lista de espécies ameaçadas de extinção no Brasil, pois para a maioria das espécies ainda se desconhece o estado de conservação. Há numerosos casos de espécies classificadas como “Deficientes em Dados”, principalmente por falta de coleta em muitos municípios e estados brasileiros. Além disso, ainda há dificuldade na identificação das espécies coletadas, pois há déficit de estudos taxonômicos sobre o grupo no Brasil (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018).

3.2.2.2. Objetivos específicos

- Realizar um levantamento de dados secundários das espécies de abelhas registradas para a Bacia do rio Doce;
- Avaliar e descrever os impactos do rompimento sobre a melitofauna terrestre;
- Realizar, no primeiro ano de atividades, uma avaliação ecológica rápida para avaliar a estrutura, composição e abundância de espécies da fauna e flora terrestre e transição água-terra, bem como de solos associados;
- Definir espécies indicadoras da melitofauna, áreas prioritárias e processos ecológicos que serão objeto de monitoramento de longo prazo em programas específicos;
- Definir quais e como os impactos afetam os táxons amostrados.

3.2.2.3. Material e métodos

3.2.2.3.1. Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Para o levantamento de informações secundárias sobre as espécies de abelhas com ocorrência conhecida para **BHRD** foram realizadas pesquisas no repositório de dados de coleções científicas do *SpeciesLink* e na coleção entomológica do Centro de Coleções Taxonômicas da UFMG (CCT-UFMG). No *SpeciesLink* foram pesquisados os registros de abelhas para todos os municípios da Bacia. O levantamento de informações do CCT-UFMG foi feito apenas para as áreas de coleta do escopo deste estudo. Consideramos apenas os registros com identificação até nível específico e com localização determinada para os municípios da Bacia Hidrográfica.

3.2.2.3.2. Coleta de dados

As coletas de abelhas foram realizadas em duas campanhas, que aconteceram entre os dias 18 de julho e 08 de outubro de 2018, na seca, e entre os dias 17 de janeiro e 08 de abril de 2019, na estação de chuvas. Duas equipes foram responsáveis pela coleta: a equipe A, formada pelos biólogos Adão Júnior e Ricardo Greco (estação chuvosa) e a equipe B pela bióloga Bruna Karen Pinheiro Costa (**Quadro 36**, **Quadro 37**). Os espécimes de abelhas coletadas foram tombados na CCT-UFMG. Para o levantamento das abelhas na estação seca foram utilizadas três metodologias de coleta adaptadas da literatura.

Quadro 36. Períodos de campo das equipes durante as duas campanhas de amostragem de Abelhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Equipe	Campanha	Início	Final	Total dias
A	1º campo	18/07/2018	10/08/2018	23 dias
A	2º campo	24/08/2018	19/09/2018	15 dias
B	1º campo	18/07/2018	10/08/2018	23 dias
B	2º campo	24/08/2018	08/10/2018	44 dias
A	1º campo	17/01/2019	05/03/2019	47 dias
B	1º campo	18/01/2019	30/03/2019	71 dias
A	2º campo	01/04/2019	08/04/2019	08 dias

Quadro 37. Esforço de coleta e métodos utilizados em campo para a captura de Abelhas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Estação	Período	Método	Módulos amostrados	Esforço
Seca	18/08 a 08/10/2019	RE	1T, 2T, 4T, 5T, 6T, 7T, 8T, 10T, 11T, 12T, 14T, 15TA, 15TB, 15TC, 17T, 18TA, 18TB, 20T, 22T, 1P-9i, 2PIF, PERD, PrPS	2 h/dia
		AA	1T, 2T, 4T, 5T, 6T, 7T, 8T, 10T, 11T, 12T, 14T, 15TA, 15TB, 15TC, 17T, 18TA, 18TB, 20T, 22T, 1P-9i, 2PIF, PERD, PrPS	15 arm./módulo
		AM	1T, 2T, 4T, 5T, 6T, 7T, 8T, 10T, 11T, 12T, 14T, 15TA, 15TB, 15TC, 17T, 18TA, 18TB, 20T, 22T, 1P-9i, 2PIF, PERD, PrPS	4 dias
Chuvosa	17/01 a 09/04/2019	RE	1T, 2T, 5T, 6T, 7T, 8T, 10T, 11T, 12T, 13T, 14T, 15TA, 15TB, 15TC, 17T, 18TA, 18TB, 20T, 22T, 23T, PERD, PrPS, 9I1p	2 h/dia
		AA	1T, 2T, 5T, 6T, 7T, 8T, 10T, 11T, 12T, 13T, 14T, 15TA, 15TB, 15TC, 17T, 18TA, 18TB, 20T, 22T, 23T, PERD	15 arm./módulo
		AM	1T, 2T, 5T, 6T, 7T, 8T, 10T, 11T, 12T, 13T, 14T, 15TA, 15TB, 15TC, 17T, 20T, 22T, 23T, 9I1p	4 dias

3.2.2.3.2.1. Amostragem ativa em flor

Esse método foi sugerido pela primeira vez em 1967 e desde então vem sendo utilizada como forma básica na captura desses insetos (SAKAGAMI; LAROCA; MOURE, 1967). Consiste na observação e captura das abelhas nas flores e seus arredores com auxílio de uma rede entomológica (**Foto 8**). Para isso, o coletor permanece por ca. 5 min diante de uma planta florida capturando todas as abelhas visitantes (SAKAGAMI; LAROCA; MOURE, 1967). Adicionalmente, durante as caminhadas, as abelhas observadas em outras flores, em voo ou em ninhos foram coletadas no entorno das florestas ou em áreas que permitiram este tipo de coleta (trilhas, estradas, clareiras). Também foram capturadas as abelhas que forragearam no suor dos coletores. A coleta ativa permite o conhecimento do nicho trófico das abelhas e a amostragem de táxons especializados em determinadas famílias e/ou gêneros de plantas (SAKAGAMI; LAROCA; MOURE, 1967). Para isso, as plantas onde as abelhas foram capturadas foram identificadas em campo. A amostragem das abelhas por *busca ativa* ocorreu entre às 10:00h e 15:00h, período de maior atividade das abelhas (ANTONINI; MARTINS, 2003; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002).



Foto 8. Profissional realizando a coleta ativa de Abelhas em floração em parcela do módulo 22T, município de Mariana, MG, durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.2.3.2.2. Amostragem passiva

1) Armadilhas com iscas aromáticas. Destinadas a captura de abelhas do sexo masculino da subtribo Euglossina (**Foto 9**). As armadilhas foram adaptadas de garrafas pet (CAMPOS et al., 1989) e em cada parcela foram colocados conjuntos com cinco armadilhas, cada uma contendo uma substância aromática diferente: cineol ou eucaliptol, vanilina, cinamato de metila, eugenol e salicilato de metila (BONILLA GOMEZ, 1999; ROUBIK, 1989). As armadilhas foram instaladas equidistantes a 50 m e permaneceram em funcionamento por três a quatro dias consecutivos. Com o objetivo de reduzir a perda de abelhas através de fugas, as armadilhas foram vistoriadas diariamente e iscas repostas ao longo do dia para manter a sua atratividade.

2) Armadilha Malaise. A *malaise* é uma armadilha de interceptação de voo de insetos e apesar de sempre coletar abelhas é mais eficiente para captura de outros grupos de insetos. A utilização da *malaise* é importante nos levantamentos de impacto ambiental porque podem capturar espécies raras, principalmente abelhas de ambientes florestais ou cleptoparasitas (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002). A *malaise* foi montada em uma das extremidades de cada parcela analisada e permaneceu exposta por três dias consecutivos (**Foto 10**).

Os espécimes capturados por **busca ativa** ou **passiva** foram mortos em frascos mortíferos contendo acetato de etila. Após sua morte, as abelhas foram transferidas para envelopes de papel identificados com os dados de cada UA. Os envelopes foram mantidos em freezer para conservação das abelhas coletadas. Esses organismos foram encaminhados para o Laboratório de Sistemática de Insetos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, onde foram montadas e identificadas. Usamos alfinetes entomológicos de numeração 1 a 3 para montagem, e submetemos o material por um período de descontaminação, secagem em estufa, para então identifica-los até o nível taxonômico mais específico possível.



Foto 9. Profissional checando armadilha de isca aromática (A e B), retirando as abelhas coletadas (C) e repondo iscas (D). Abelhas do gênero *Euglossa* sobrevoando a armadilha com isca aromática (E) e uma abelha entrando na armadilha (F). Amostragens durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

A identificação taxonômica foi feita com auxílio de chaves dicotômicas disponíveis na literatura (BONILLA-GÓMEZ; NATES-PARRA, 1992; DE OLIVEIRA, 2007; FARIA; MELO, 2012a; FERRARI; SILVEIRA, 2015; GONÇALVES, 2017; GONÇALVES; MELO, 2012; GRAF; URBAN, 2008; MARCHI; ALVES-DOS-SANTOS, 2013; MICHENER, 2007; NEMÉSIO, 2009a, 2012; NEMESIO; ENGEL, 2012; NEMÉSIO; FERRARI, 2011; NOGUEIRA, 2016; ROCHA FILHO; PACKER, 2017; RODRÍGUEZ; ALSINA, 2004; ROIG ALSINA, 2009; SANTOS; SILVEIRA, 2009; SCHLINDWEIN et al., 2003; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002; URBAN, 1992) e por comparação com exemplares previamente identificados incluídos na coleção de referência da UFMG. A classificação

adotada foi proposta por MICHENER (2007). As abelhas coletadas foram tombadas e incluídas na Coleção Entomológica do Centro de Coleções Taxonômicas da UFMG.



Foto 10. Profissional montando a armadilha *malaise* (A e B), detalhe do pote da *malaise* com os insetos coletados (imagem C). Armadilha *malaise* instalada em área de impacto do módulo 13T, Baixo Guandú - ES, para captura de abelhas, durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.2.3.3. Análise dos dados

A curva de acúmulo de espécies, que é utilizada para determinação da suficiência da amostra, foi elaborada utilizando o acúmulo de espécies registradas em cada parcela. Foram consideradas 99 amostras. A curva de acúmulo de espécies foi elaborada com emprego do programa estatístico R, com auxílio do pacote *vegan* (R CORE TEAM, 2018). A eficiência da amostragem foi verificada pelo método de interpolação e extrapolação (CHAO et al., 2014; COLWELL et al., 2012), utilizando o pacote do R chamado *iNext* (HSIEH; MA; CHAO, 2013; R CORE TEAM, 2018), que gera uma curva com a eficiência das amostras com relação ao número de indivíduos. Além disso, no

mesmo pacote de análises, foram calculados os números de Hill nas Ordens '0' (Riqueza de espécies; JOST, 2006), para o qual o peso de cada espécie foi dado por sua frequência em cada amostra. A riqueza estimada foi obtida através do estimador Chao2 (CHAO, 1987; COLWELL; CODDINGTON, 1994; GOTELLI; COLWELL, 2001), sendo parte dos resultados do pacote *iNext* para o R (R CORE TEAM, 2018).

3.2.2.4. Resultados

3.2.2.4.1. Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Há informações importantes sobre as abelhas Euglossina no Parque Estadual do Rio Doce (PERD) já publicadas (NEMÉSIO; SILVEIRA, 2006; NEMÉSIO, 2009; NEMÉSIO; PAULA, 2013; NEMÉSIO; SILVEIRA, 2004, 2006; PERUQUETTI et al., 1999) e também para o município de Viçosa (PERUQUETTI et al., 1999). Além disso, os autores disponibilizaram uma lista baseada em diversos estudos sobre as Euglossina coletadas em áreas de domínio da Mata Atlântica. Em 2004, foi publicada uma rara ocorrência de *Eufriesea aeneiventris* coletada com isca de salicilato de metila no PERD (NEMÉSIO; SILVEIRA, 2004). Antes disso, a abelha havia sido registrada apenas em 1943. Mais tarde, em 2006, os mesmos autores avaliaram possíveis diferenças na abundância, riqueza e estrutura das comunidades de Euglossina em diferentes distâncias nas bordas de mata no PERD: foram coletados 1.183 machos de 20 espécies de Euglossina (NEMÉSIO; SILVEIRA, 2006a). No mesmo ano, esses autores também publicaram uma investigação dos padrões biogeográficos das espécies da abelha cleptoparasitárias *Exaerete* e seus hospedeiros, também incluindo dados coletados no PERD (NEMÉSIO; SILVEIRA, 2006b). Outro importante estudo incluindo dados do PERD e de arredores da **BHRD** foi a comparação da fauna de abelhas-das-orquídeas da 'Reserva Particular do Patrimônio Natural Feliciano Miguel Abdala' 12 anos após o primeiro levantamento da área (NEMÉSIO; PAULA, 2013). Ainda assim, o conhecimento geral sobre a melitofauna no Brasil e, provavelmente, ao longo de toda a **BHRD** é ainda escasso e/ou disperso em estudos não publicados (KLEINERT; ETEROVIC; SANTOS FILHO, 2012; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002).

Em levantamento de dados secundários no *SpeciesLink* e do CCT-UFMG para os municípios da **BHRD**, encontramos registros de 220 espécies, e destas, 165 não foram coletados no presente estudo (**APÊNDICE 24**). Porém, 55 espécies registradas por este estudo não são registradas nas coleções consultadas através da base de dados do *SpeciesLink*. Outras 54 espécies foram registradas em ambas as fontes de material,

tanto em dados secundários quanto dados adquiridos em campo. Com isso, é registrado para região da **BHRD** um total de 275 espécies plenamente identificadas. Além disso, ainda temos uma quantidade considerável de morfoespécies que podem aumentar ainda mais o número de espécies para a região.

3.2.2.4.2. Diagnóstico da Área de estudo

3.2.2.4.2.1. Riqueza taxonômica

Capturamos 153 espécies de abelhas de quatro famílias: Colletidae (3 gêneros e 3 espécies), Apidae (38 gêneros e 98 espécies), Halictidae (11 gêneros e 30 espécies) e Megachilidae (6 gêneros e 23 espécies; **Quadro 38; APÊNDICE 25**). Os módulos 23T (43 espécies), 22T (36 spp.), 12T (32 spp.) e 20T (30 spp.), foram os que tiveram maior riqueza de espécies. Ao observarmos a riqueza por Blocos Amostrais temos que, BA1b (68 spp.) foi o que teve maior riqueza de espécies, seguido do BA4 (59 spp.), BA3 (59 spp.), BA2 (50 spp.) e BA1 (44 spp.; **Quadro 38; APÊNDICE 25**). Quando separados por método de coleta, rede entomológica coletou maior riqueza de espécies (N = 102), seguido da armadilha *Malaise* (N = 81) e das armadilhas aromáticas (N = 41).

Quadro 38 Abundância, riqueza, estimador de riqueza e cobertura da amostra por Blocos Amostrais por tipo de parcela de coleta de Abelhas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Parcelas	Riqueza	Abundância	Cobertura da amostra	Estimador (Chao2 $\pm$ SE)
BA1a	Terrestre	36	329	96,37%	46,25 $\pm$ 7,77
	Ripária	16	69	90,02%	22,04 $\pm$ 5,99
	Ilha	11	42	81,08%	38,33 $\pm$ 20,75
BA1b	Terrestre	61	1436	98,54%	97,72 $\pm$ 22,76
	Ripária	26	117	92,38%	34,03 $\pm$ 7,04
	Ilha	9	13	47,41%	31,61 $\pm$ 28,75
BA2	Terrestre	43	296	92,24%	86,93 $\pm$ 26,48
	Ripária	20	124	91,96%	44,8 $\pm$ 24,05
BA3	Terrestre	40	153	86,32%	83,81 $\pm$ 28,17
	Ripária	24	97	88,68%	83,88 $\pm$ 70,35
	Ilha	17	72	88,97%	33,78 $\pm$ 16,27
BA4	Terrestre	38	152	86,24%	74,51 $\pm$ 22,64
	Ripária	42	177	88,75%	66,86 $\pm$ 15,02

A quantidade de espécies de Euglossina registrada chama atenção, mas não é algo inédito, pois esta é a subtribo mais frequentemente capturada quando se utiliza armadilhas aromáticas. Isso se deve ao comportamento dos machos, que voam longas distancias em busca de essências para atrair as fêmeas. Não era esperado, porém, que outros grupos estivessem tão pouco representados, como as abelhas do gênero *Bombus* e *Centris*, normalmente frequentes em coletas com rede entomológica.

3.2.2.4.2.2. Abundância absoluta e relativa

Um total de 3.077 espécimes de abelhas foram coletados durante as duas campanhas. Apidae foi a família com maior abundância registrada (N = 2.802 indivíduos), seguida de Halictidae (N = 214), Megachilidae (N = 57) e Colletidae (N = 8). Nos módulos 8T (N = 355) e 7T (N = 249) registramos as maiores abundâncias, e em outros 13 módulos coletamos mais de 100 indivíduos. Como destaque negativo, os módulos 1PrPC (N = 1), PS (N = 9) e PERD (N = 12). As maiores abundâncias ocorreram no BA1b (N = 1.538), seguido do BA1a (N = 468), BA2 (N = 421), BA4 (N = 331) e BA3 (N = 323).

Um total de 72 espécies foram registradas por um ou dois exemplares, sendo assim consideradas raras. A maioria dessas abelhas foi coletada apenas por *busca ativa* (38 spp.) ou *malaise* (25 spp.). Em contrapartida, 15 espécies ocorreram em quantidades maiores que 50 indivíduos, com destaque para as espécies de Euglossina, *Euglossa* (*E.*) *cognata* (N = 543) e *E. (E.) cordata* (N = 516), que foram principalmente coletadas por armadilhas aromáticas. Além das Euglossina, também apresentaram mais de 50 exemplares as abelhas sociais, como *Apis mellifera* e *Trigona spinipes*, espécies sempre abundantes em inventários de fauna, uma vez que apresentam milhares de indivíduos sua cada colônia.

3.2.2.4.2.3. Esforço e eficiência amostral

As curvas de rarefação indicam que as amostras cobriram 86,84% da diversidade esperada para o esforço empregado na **Área de Estudo** (Figura 21, Figura 22). Nas *Parcelas Terrestres* obtivemos alta cobertura de amostra, BA1b e BA1a, com 98,54% e 96,37% respectivamente. Nas *Parcelas Ripárias* a cobertura foi mais baixa: BA1b (92,38%) e BA2 (92,24%). Isto foi causado pelo número mais baixo de *Parcelas Ripárias*. Portanto, ainda são esperadas novas espécies na amostra com o aumento do esforço de coleta, evidente para alguns BA que tiveram riqueza estimada em pelo menos 40 espécies (Chao2).

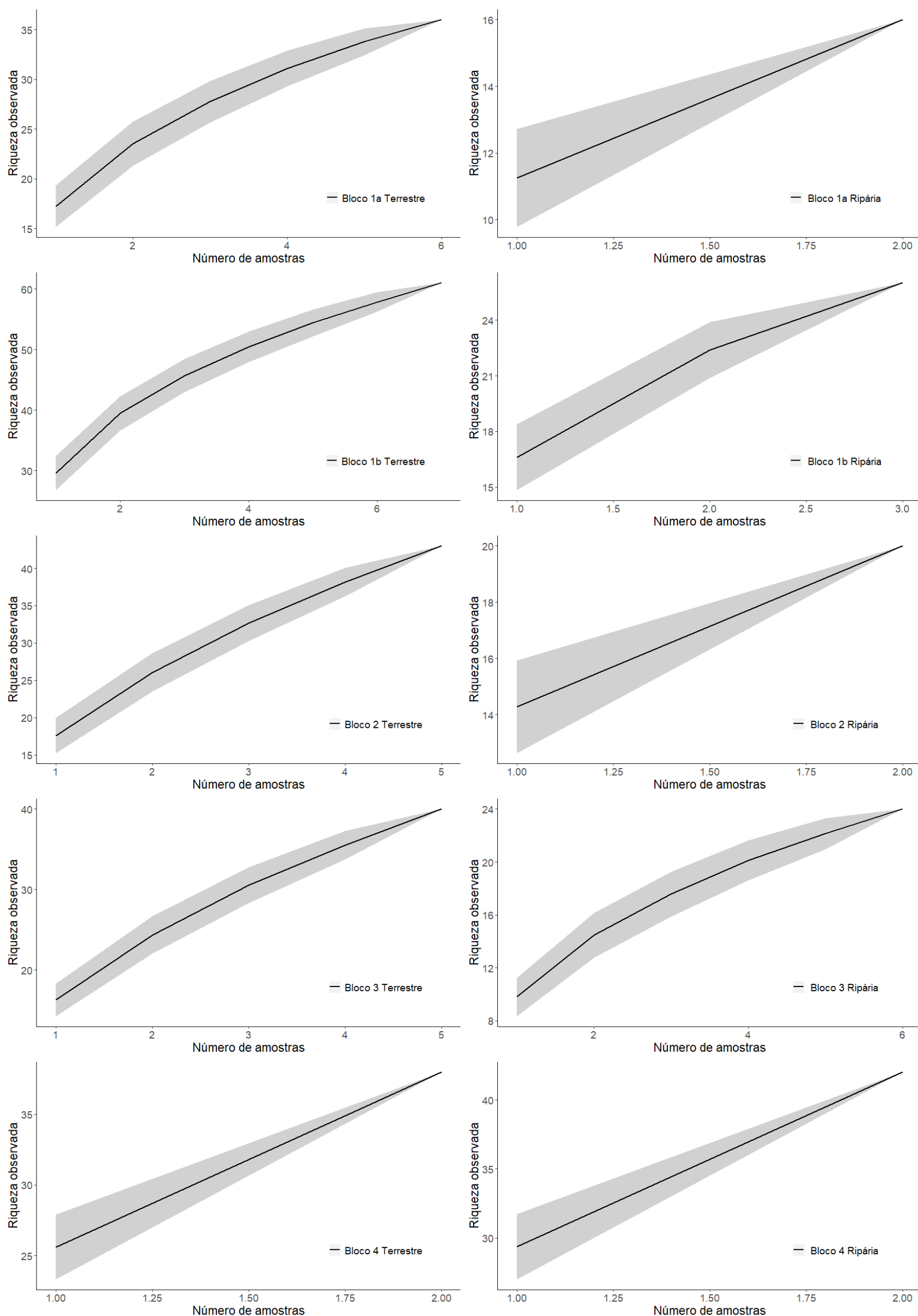


Figura 21. Curvas do coletor de amostras para Abelhas por BA e abordagens de análise para as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

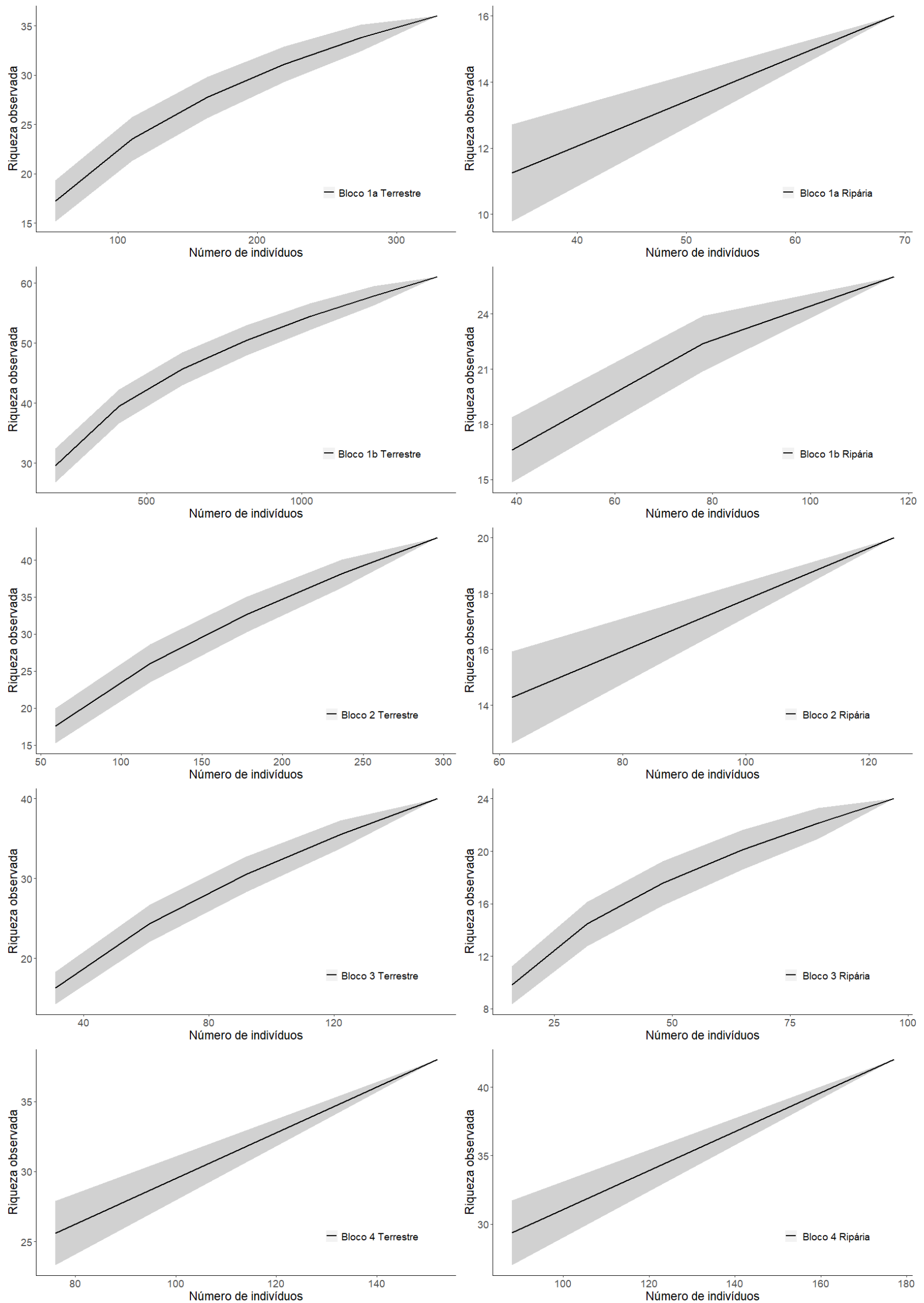


Figura 22. Curvas do coletor de abundância para Abelhas por BA e abordagens de análise para as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.2.4.2.4. Influência da distância do rio doce na riqueza de espécies de abelhas (GLM e NMDS)

No BA1b quanto mais distante do rio maior a riqueza de espécies, tanto na estação seca (Est = 0,1234; Z = 2,855; p = 0,0043), quanto na chuvosa (Est= 0,1082; Z= 2,375; p = 0,0175) nas *Parcelas Terrestres* (**Tabela 7; Figura 23**), e na estação seca (Est= 0,2178; Z= 2,367; p = 0,0179) das parcelas ripária (**Tabela 8; Figura 24**).

Tabela 7. Análises de GLM (Modelos Lineares Generalizados) predizendo a riqueza de espécies de Abelhas em função da distância do rio Doce nas *Parcelas Terrestres* no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Dados em função do BA e estação. Valores em vermelho sinalizam resultados significativos.

Estação	Bloco Amostral	Estimativa	Erro padrão	Z	p
-	Intercepto	1,56787	0,05839	26,849	<0,0001
Chuvas	BA1a	-0,01807	0,01916	-0,943	0,3455
Seca	BA1a	-0,01308	0,02132	-0,614	0,5395
Chuvas	BA1b	0,10823	0,04557	2,375	0,0175
Seca	BA1b	0,12347	0,04324	2,855	0,0043
Chuvas	BA2	0,03207	0,05143	0,624	0,5329
Seca	BA2	-0,09834	0,06587	-1,493	0,1355
Chuvas	BA3	-0,08361	0,06264	-1,335	0,1819
Seca	BA3	-0,16023	0,07106	-2,255	0,0241
Chuvas	BA4	-0,17624	0,10812	-1,63	0,1031
Seca	BA4	-0,21078	0,15353	-1,373	0,1698

Família – Poisson; Goodness of fit – p = 0,0007594; PseudoR² = 0,16274344; Overdispersion = 1,1911.

Os resultados de NMDS (*Non-metric Multidimensional Scaling*; **Figura 25**) mostram que no BA1a a distância do rio (R² = 0,2128; p = 0,029), presença de corpos aquáticos (R² = 0,4046; p = 0,040) e presença de áreas degradadas (R² = 0,3030; p = 0,035) são as variáveis que mais explicam a composição das espécies entre as estações. O mesmo foi observado no BA1b para os corpos aquáticos (R² = 0,0956; p = 0,036), no BA2 para a distância de unidades de conservação (R² = 0,2921; p = 0,024), no BA3 também para os corpos aquáticos (R² = 0,3084; p = 0,018), todos em *Parcelas Terrestres*. Nas *Parcelas Ripárias* (**Figura 26**), na maioria dos BA os resultados desta análise foram insatisfatórios. Para o BA1b, observamos que a variáveis que mais explicaram a

composição das espécies foram a distância de centros urbanos ($R^2 = 0,5521$; $p = 0,013$), de unidades de conservação ($R^2 = 0,5137$; $p = 0,028$) e a presença de ambientes degradados ($R^2 = 0,4931$; $p = 0,032$). Tanto os resultados do GLM (**Figura 23, Figura 24**) como do NMDS (**Figura 25, Figura 26; Tabela 9, Tabela 10**) mostram que a riqueza de abelhas aumenta com a distância do rio.

Tabela 8. Análises de GLM (Modelos Lineares Generalizados) predizendo a riqueza de espécies de Abelhas em função da distância do rio Doce nas *Parcelas Terrestres* no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Dados em função do BA e estação. Valores em vermelho sinalizam resultados significativos, em laranja significam tendências.

Estação	Bloco Amostral	Estimativa	Erro padrão	Z	p
-	Intercepto	155,978	0,11388	13,696	<0,00001
Chuvas	BA1a	-0,16039	0,13255	-1,210	0,2263
Seca	BA1a	NA	NA	NA	NA
Chuvas	BA1b	0,13140	0,10871	1,209	0,2268
Seca	BA1b	0,21786	0,09203	2,367	0,0179
Chuvas	BA2	-0,34994	0,23445	-1,493	0,1355
Seca	BA2	0,04997	0,13528	0,369	0,7118
Chuvas	BA3	0,01849	0,07304	0,253	0,8002
Seca	BA3	-0,14811	0,09658	-1,534	0,1251
Chuvas	BA4	-0,30217	0,15738	-1,920	0,0549
Seca	BA4	0,03501	0,14123	0,248	0,8042

Família – Poisson; *Goodness of fit* – $p = 0,00007523$; $PseudoR^2 = 0,258052138$; *Overdispersion* = 1,655782.

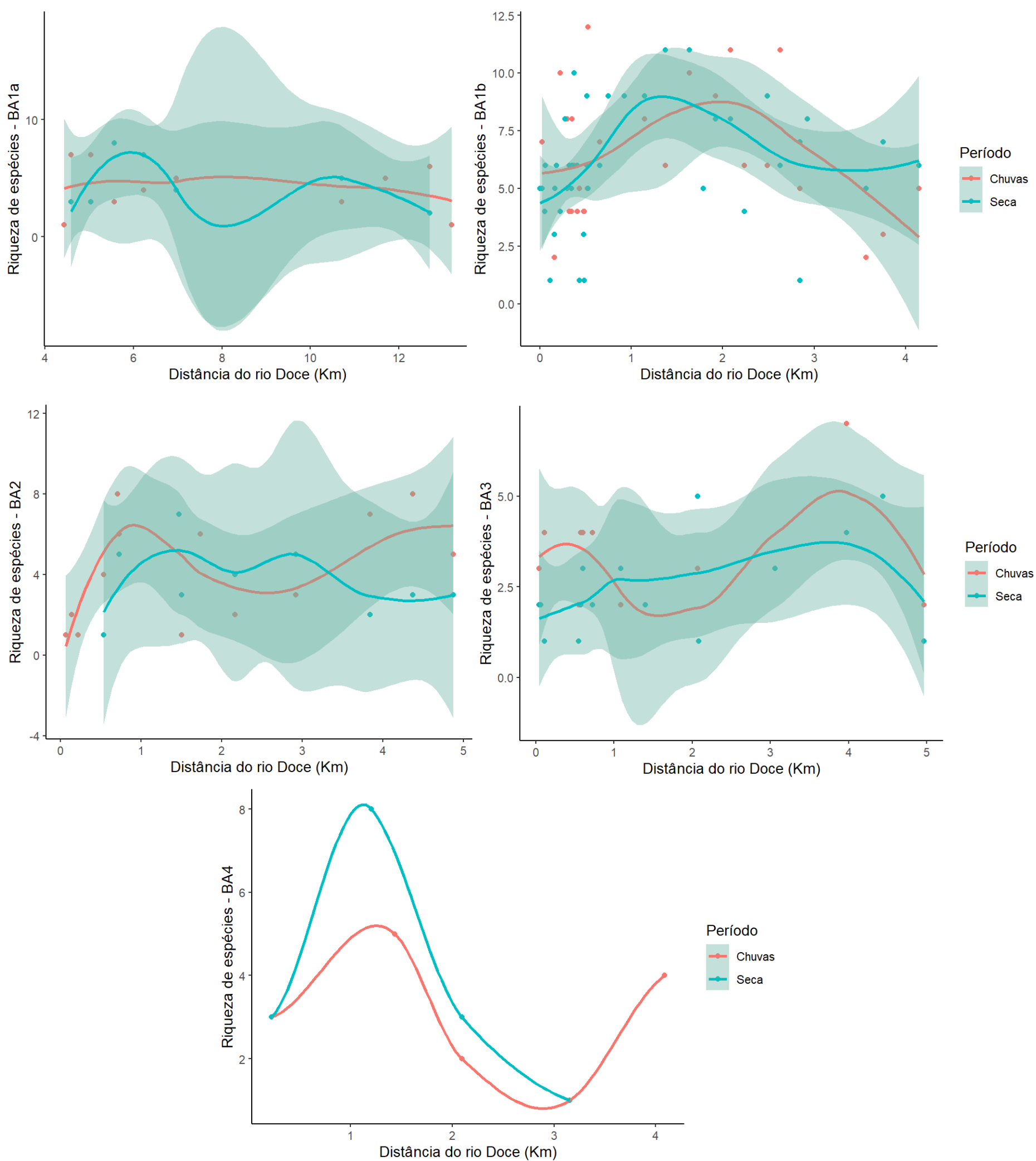


Figura 23. GLM da riqueza de espécies de Abelhas coletadas durante as estações seca e chuvosa, em relação à distância do rio doce, para as *Parcelas Terrestres*, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

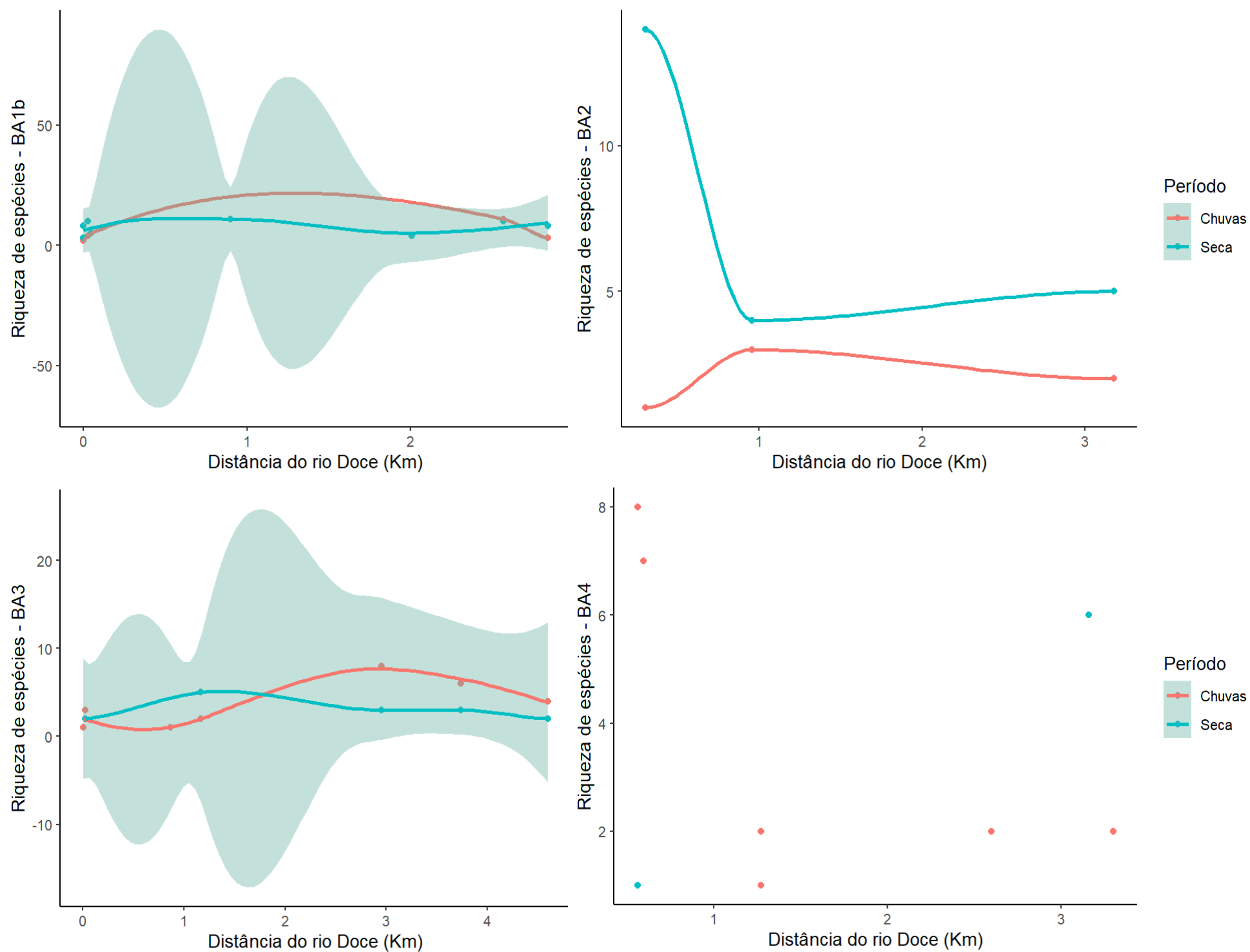


Figura 24. GLM da riqueza de espécies de Abelhas coletadas durante as estações seca e chuvosa, em relação à distância do rio doce, para as *Parcelas Ripárias*, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Tabela 9. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Abelhas por BA nas *Parcelas Terrestres* durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.

Bloco Amostral	Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p
BA1a	Município	0,9683	-0,2498	0,1271	0,2790
BA1a	Barragem	-0,0010	-1,0000	0,2068	0,0610
BA1a	Rio Doce	-0,0049	1,0000	0,2128	0,0290
BA1a	UC	-0,8526	-0,5226	0,0920	0,5960
BA1a	<i>Uso antrópico</i>	-0,9931	-0,1176	0,2145	0,1650
BA1a	<i>Uso aquático</i>	0,2539	-0,9672	0,4046	0,0400
BA1a	<i>Uso degradado</i>	0,3100	-0,9507	0,3030	0,0350
BA1a	<i>Uso natural</i>	0,2731	0,9620	0,1468	0,4620
BA1b	Município	-0,1270	-0,9919	0,0245	0,4170
BA1b	Barragem	0,3061	0,9520	0,0065	0,8530
BA1b	Rio Doce	-0,3110	-0,9504	0,0410	0,2710
BA1b	UC	0,0934	-0,9956	0,0160	0,5510
BA1b	<i>Uso antrópico</i>	-0,9904	-0,1381	0,0130	0,7220
BA1b	<i>Uso aquático</i>	-0,1222	-0,9925	0,0956	0,0360
BA1b	<i>Uso degradado</i>	0,2978	-0,9546	0,0094	0,7030
BA1b	<i>Uso natural</i>	0,3382	0,9411	0,0200	0,5880
BA2	Município	-0,9962	-0,0876	0,0623	0,4640
BA2	Barragem	0,9150	0,4034	0,1177	0,3190
BA2	Rio Doce	-0,0788	-0,9969	0,1440	0,2180
BA2	UC	0,2920	0,9564	0,2921	0,0240
BA2	<i>Uso antrópico</i>	0,6267	0,7793	0,1376	0,3460
BA2	<i>Uso aquático</i>	0,7615	0,6482	0,1837	0,2220
BA2	<i>Uso degradado</i>	-0,7430	-0,6693	0,2235	0,1990
BA2	<i>Uso natural</i>	-0,3294	-0,9442	0,0260	0,9100
BA3	Município	0,1546	-0,9880	0,0215	0,7970
BA3	Barragem	-0,6207	-0,7840	0,0354	0,6960
BA3	Rio Doce	0,1232	-0,9924	0,0215	0,8390
BA3	UC	-0,5452	-0,8383	0,0208	0,8110
BA3	<i>Uso antrópico</i>	-0,5666	0,8240	0,0069	0,9480
BA3	<i>Uso aquático</i>	0,6790	0,7341	0,3084	0,0180
BA3	<i>Uso degradado</i>	0,1948	0,9808	0,0816	0,4230
BA3	<i>Uso natural</i>	-0,0171	-0,9999	0,0203	0,8310
BA4	Município	0,9665	-0,2568	0,0132	0,9370
BA4	Barragem	0,2133	-0,9770	0,0290	0,8720
BA4	Rio Doce	-0,4702	0,8826	0,1790	0,4850
BA4	UC	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
BA4	<i>Uso antrópico</i>	-0,0857	-0,9963	0,0062	0,9740
BA4	<i>Uso aquático</i>	-0,8068	0,5909	0,0226	0,9160
BA4	<i>Uso degradado</i>	0,8530	-0,5219	0,0654	0,7220
BA4	<i>Uso natural</i>	-0,4682	0,8837	0,0157	0,9260

Município – distância ao centro urbano mais próximo; Barragem - Distância até a barragem de Fundão; Rio Doce – Distância até o leito do rio Doce; UC – Distância até a Unidade de Conservação mais próxima; *Uso antrópico* – Categoria de uso do solo categorizada como zonas urbanas e similares; *Aquático* – Cobertura de ambientes aquáticos; *Uso degradado* – Áreas de cobertura e uso do solo de ambientes degradados pela atividade humana; *Natural* – Áreas de cobertura fitofisionômica natural.

Tabela 10. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Abelhas por BA nas *Parcelas Ripárias* durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.

Bloco Amostral	Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p
BA1b	Município	0,9989	-0,0463	0,5521	0,0130
BA1b	Barragem	0,7449	0,6672	0,3500	0,1230
BA1b	Rio Doce	0,0712	-0,9975	0,1804	0,3760
BA1b	UC	-0,4099	-0,9122	0,5137	0,0280
BA1b	<i>Uso antrópico</i>	-0,3100	-0,9508	0,1190	0,5410
BA1b	<i>Uso aquático</i>	0,7414	-0,6711	0,0880	0,6520
BA1b	<i>Uso degradado</i>	-0,6417	-0,7670	0,4931	0,0320
BA1b	<i>Uso natural</i>	0,2299	0,9732	0,1445	0,4630
BA2	Município	0,8060	0,5919	0,8390	0,0778
BA2	Barragem	-0,7927	-0,6096	0,8444	0,0778
BA2	Rio Doce	-0,3240	-0,9460	0,4962	0,3111
BA2	UC	0,7148	0,6994	0,8575	0,0667
BA2	<i>Uso antrópico</i>	-0,7886	-0,6149	0,8459	0,0778
BA2	<i>Uso aquático</i>	-0,9963	-0,0859	0,6208	0,2556
BA2	<i>Uso degradado</i>	0,9780	0,2086	0,6721	0,1889
BA2	<i>Uso natural</i>	0,6750	0,7378	0,8511	0,1000
BA3	Município	0,6761	-0,7368	0,1680	0,4300
BA3	Barragem	-0,9294	0,3690	0,1424	0,1870
BA3	Rio Doce	0,1284	-0,9917	0,1846	0,5190
BA3	UC	0,0528	-0,9986	0,0182	0,5130
BA3	<i>Uso antrópico</i>	-0,2131	0,9770	0,2009	0,2740
BA3	<i>Uso aquático</i>	0,1194	0,9929	0,3205	0,2620
BA3	<i>Uso degradado</i>	-0,0694	0,9976	0,2228	0,1370
BA3	<i>Uso natural</i>	0,1482	-0,9890	0,2108	0,2520
BA4	Município	0,4770	0,8789	0,0475	0,8420
BA4	Barragem	0,2736	0,9619	0,2309	0,5860
BA4	Rio Doce	-0,2695	0,9630	0,2890	0,4230
BA4	UC	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
BA4	<i>Uso antrópico</i>	0,0858	0,9963	0,1410	0,6930
BA4	<i>Uso aquático</i>	-0,6203	-0,7844	0,2042	0,5370
BA4	<i>Uso degradado</i>	0,7719	-0,6358	0,1108	0,7040
BA4	<i>Uso natural</i>	-0,1848	-0,9828	0,0946	0,7800

Município – distância ao centro urbano mais próximo; Barragem - Distância até a barragem de Fundão; Rio Doce – Distância até o leito do rio Doce; UC – Distância até a Unidade de Conservação mais próxima; *Uso antrópico* – Categoria de uso do solo categorizada como zonas urbanas e similares; *Aquático* – Cobertura de ambientes aquáticos; *Uso degradado* – Áreas de cobertura e uso do solo de ambientes degradados pela atividade humana; *Natural* – Áreas de cobertura fitofisionômica natural.

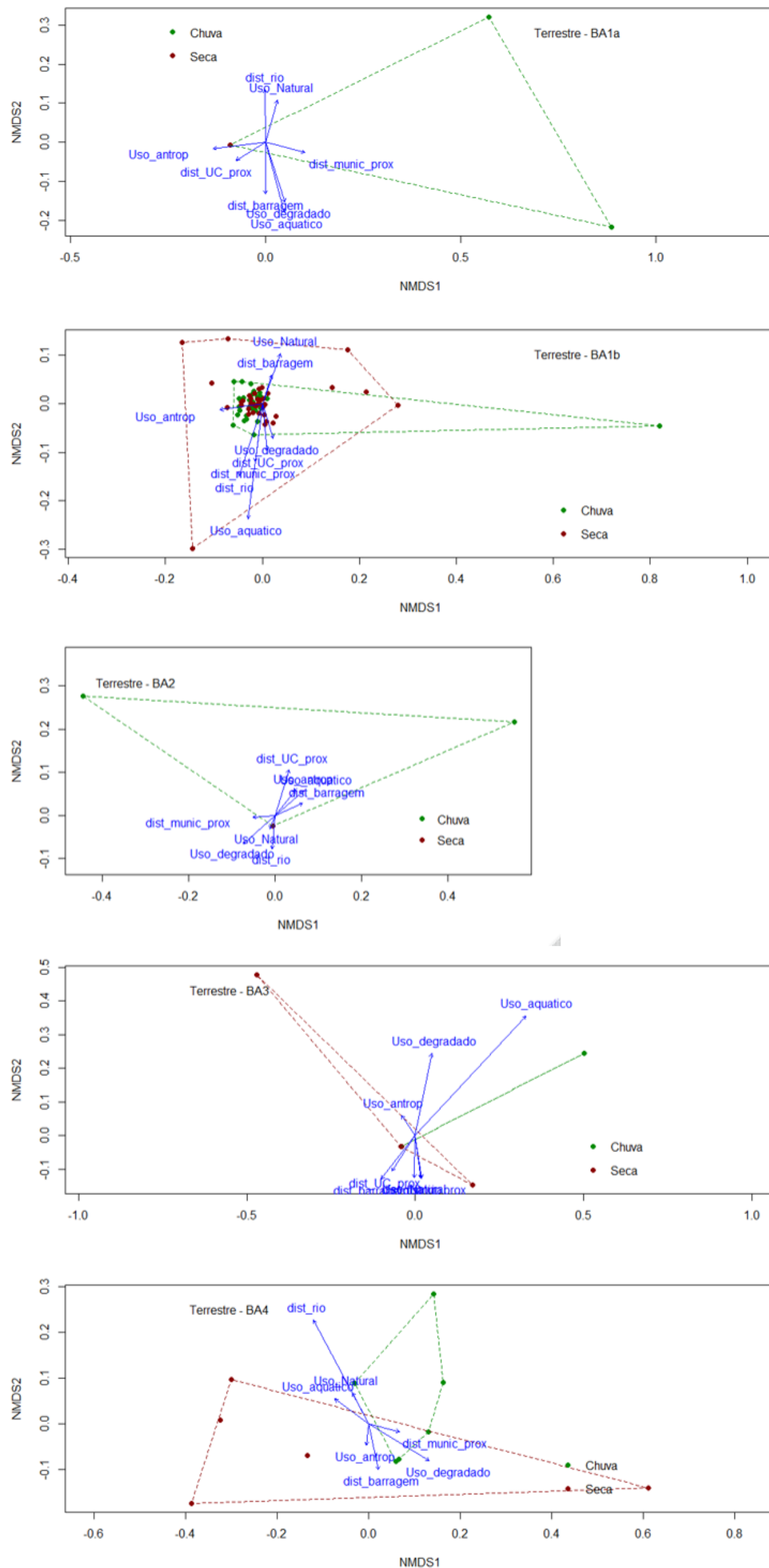


Figura 25. NMDS para relação da diversidade de espécies de Abelhas em relação as variáveis, para as *Parcelas Terrestres*, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

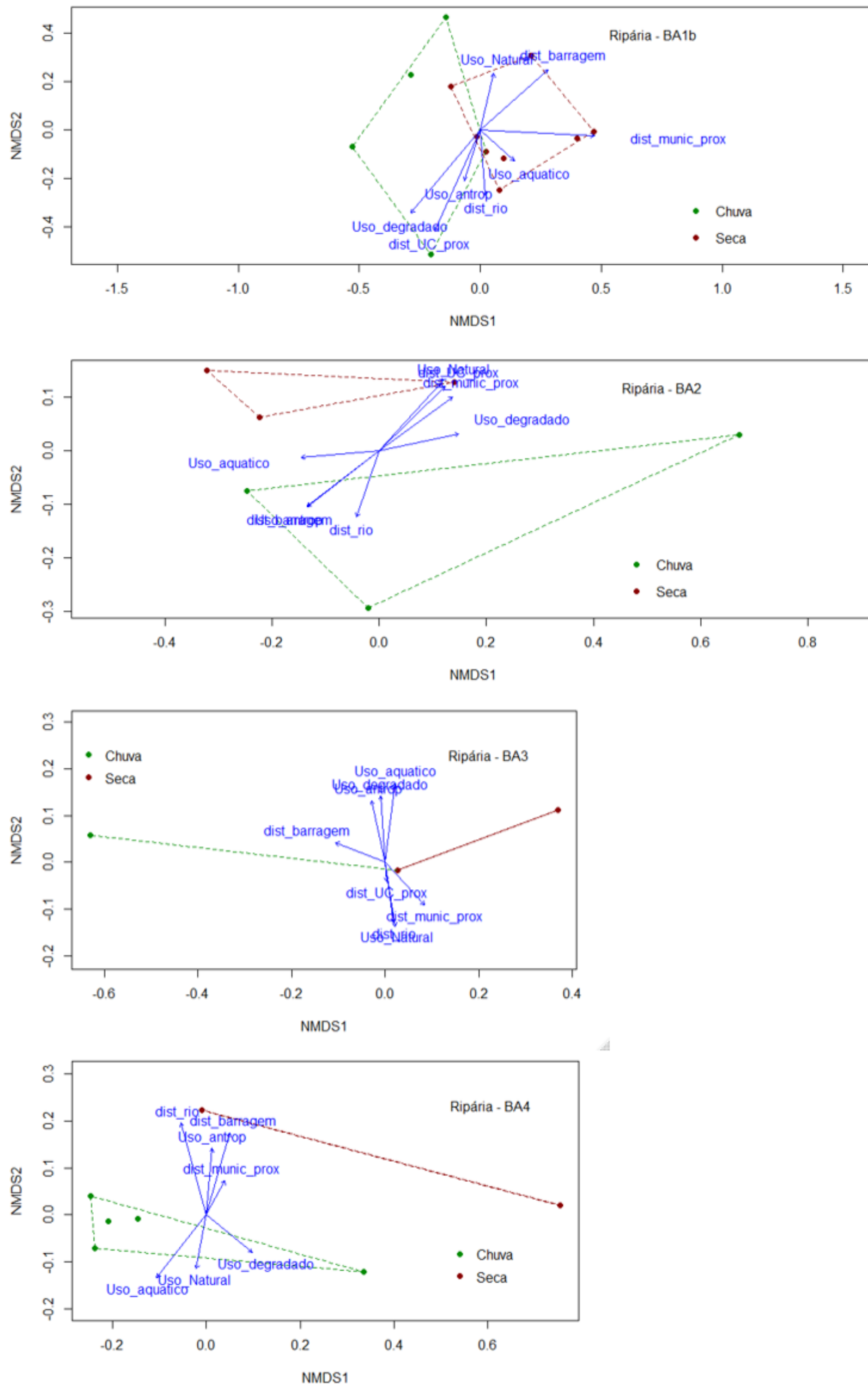


Figura 26. NMDS para relação da diversidade de espécies de Abelhas em relação as variáveis, para as *Parcelas Ripárias*, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.2.4.2.5. Metais pesados

Para a análise de metais pesados foram coletadas apenas abelhas da espécie *Apis mellifera* diretamente em seus ninhos. Pela dificuldade de manipulação de ninhos das abelhas melíferas em campo e pela quantidade de espécimes necessários para representar o peso mínimo de 5g exigidas pelo laboratório das análises, foram coletadas abelhas para análise de metais pesados em apenas 4 pontos amostrais: BA1 (5T e 12T) e BA3 (Perpétuo Socorro e Pedra Corrida; **Quadro 39**).

Como valores de referência para o grupo de abelhas, foi utilizado um estudo que comparou a presença de diversos metais no corpo das abelhas adultas forrageadoras. Para determinar os valores de cada metal no corpo das abelhas, elas foram coletadas em diferentes épocas do ano e em locais caracterizados por diferentes impactos ambientais (ZARIĆ et al., 2016). Apenas valores para Arsênio (As) e Mercúrio (Hg) não foram encontrados como valores de referência para *Apis mellifera* adultas, mas estes são metais usualmente reportados como ausentes ou abaixo do limite de detecção (LOD; *limit of detection*) dos métodos de análise empregados (MATIN; KARGAR; BUYUKISIK, 2016).

O manganês foi o único metal que mostrou níveis elevados ou bastante elevados comparados aos valores de referência nos BA analisados (**Quadro 39, Quadro 40**) (ZARIĆ et al., 2016). O manganês é uma das substâncias químicas de interesse relacionadas ao rejeito que possuíam baixas concentrações no meio ambiente. Além do manganês, os níveis de cromo e chumbo também se mostraram acima dos níveis de referência na área BA1a.

A contaminação na forma de metais acumulados no corpo de uma abelha podem refletir a contaminação dos solos, plantas, água e do ar das áreas de forrageio das abelhas. Essa área pode alcançar até 7 km² durante 12-15 horas de atividades por dia (ZARIĆ et al., 2016), o que significa que nem sempre o grau de contaminação encontrado em uma determinada colônia reflete as condições ambientais imediatas ao local de nidificação.

Quadro 39. Concentrações de metais pesados nos tecidos de *Apis mellifera*, analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Metal	Valor de referência	Máximo observado
BA1a - 5T	Arsênio	-	0,0815
	Cádmio	0,16	0,065
	Chumbo	0,31	0,43
	Cobre	21	19,8
	Cromo	0,22	1,51
	Ferro	188	68
	Manganês	54	76,1
	Mercúrio	-	0,065
	Zinco	100	45,6
BA1b - 12T	Arsênio	-	0,05
	Cádmio	*	0,05
	Chumbo	*	0,0616
	Cobre	*	8,68
	Cromo	*	0,05
	Ferro	*	31,9
	Manganês	*	67,2
	Mercúrio	-	0,05
	Zinco	*	25,4
BA3 - Perpétuo Socorro	Arsênio	-	0,05
	Cádmio	*	0,05
	Chumbo	*	0,117
	Cobre	*	7,99
	Cromo	*	0,109
	Ferro	*	60,1
	Manganês	*	94,3
	Mercúrio	-	0,05
	Zinco	*	29,4
BA3 - Pedra Corrida	Arsênio	-	0,05
	Cádmio	*	0,05
	Chumbo	*	0,0813
	Cobre	*	7,34
	Cromo	*	0,05
	Ferro	*	49,6
	Manganês	*	111
	Mercúrio	-	0,05
	Zinco	*	27,8

Valores de referência segundo (ZARIĆ et al., 2016). * Valores de referência seguem os das primeiras células.

Quadro 40. Concentrações de metais pesados, por amostra, nos tecidos de *Apis mellifera*, analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Todas as concentrações em mg*kg⁻¹.

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Espécie	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025811	BA3	9I	<i>Apis mellifera</i>	0,05	0,05	0,08	7,34	0,05	49,60	111,00	0,05	27,80
8025816	BA1b	12T	<i>Apis mellifera</i>	0,05	0,05	0,06	8,68	0,05	31,90	67,20	0,05	25,40
8025823	BA3	PS	<i>Apis mellifera</i>	0,05	0,05	0,12	7,99	0,11	60,10	94,30	0,05	29,40
8025848	BA1b	5T	<i>Apis mellifera</i>	0,08	0,07	0,43	19,80	1,51	68,00	76,10	0,07	45,60

3.2.2.4.3. Táxons de interesse para a conservação

Algumas espécies de abelhas possuem potencial para serem utilizadas como indicadoras de qualidade ambiental. *Melipona rufiventris*, por exemplo, é uma espécie em perigo de extinção (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018) com ocorrência em matas de galeria e zonas de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado. Registros preliminares mostram que *M. rufiventris* já foi registrada nas áreas de estudo (**APÊNDICE 25**). Devido a sua nidificação preferencialmente em ocos de árvores, e a preferência por áreas de matas ciliares, as populações de *M. rufiventris* são indicadas como sendo sensíveis a degradação ambiental e podem ter sido afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002).

Eulaema nigrita, considerada comum e muito tolerante a áreas impactadas, também nidifica em solo e foi pouquíssimo amostrada no estudo atual. Além dela, outras abelhas que também nidificam no solo e que tinham registros prévios na região, como as dos gêneros *Bombus*, *Centris*, *Epicharis* e *Ptiloglossa* foram muito pouco amostradas no atual estudo de avaliação de impacto e podem ter sido também afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

Um grupo de abelhas amplamente utilizado como bioindicador de qualidade ambiental em áreas florestais é o grupo *Analís* da subtribo Euglossina, abelhas com coloração predominantemente azul metálica. *Euglossa marianae*, a principal espécie considerada bioindicadora e uma abelha registrada para a **BHRD**, não foi coletada no atual estudo (NEMÉSIO, 2009). Porém, outras abelhas do grupo *Analís*, como *Euglossa cognata* e *E. calycina* apresentaram grande abundância, sendo uma das espécies mais coletadas no atual estudo. Por outro lado, espécies de *Euglossa* fora do grupo *Analís*, como *E. cordata* e *E. securigera*, também foram muito abundantes e são usualmente citadas como abelhas comuns em áreas degradadas (NEMÉSIO, 2009). É importante levar em consideração, que essas abelhas coletadas por armadilhas com iscas aromáticas são espécimes machos que percorrem amplas distâncias atrás de essências para presentear as fêmeas, o que pode influenciar a sua área de distribuição uma vez que eles podem se deslocar de áreas preservadas a quilômetros de distância para áreas impactadas atrás de recursos, que são os perfumes das flores simulados nas iscas (ACKERMAN, 1985).

Apis mellifera, a abelha africanizada ou europa, é também considerada boa indicadora de qualidade ambiental e vem sendo utilizada em estudos para avaliação de metais pesados e defensivos químicos (BARGANSKA; SLEBIODA; NAMIESNIK, 2016; SADEGHI et al. 2012; SKORBILOWICZ; SKORBILOWICZ; CIESLUK, 2018; ZARIC et al., 2016). Apesar de ser uma espécie invasora, é uma abelha amplamente distribuída em toda a **Área de Estudo** e também foi uma espécie pouco coletada no estudo atual levando-se em consideração o grande número de indivíduos presentes em suas colônias.

Adicionalmente, registramos uma possível espécie nova de *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) e duas espécies novas de *Megachile* (*Pseudocentron*). Vários morfotipos foram encontrados para outros gêneros de abelhas, como *Augochlora*, *Augochloropsis*, *Augochlorella*, *Ceratina*, dentre outros. Para esses espécimes não foi possível chegar a uma identificação específica devido aos impedimentos taxonômicos como a falta de chaves de identificação ou por se tratarem de espécies ainda não descritas.

3.2.2.5. Conclusões e recomendações

A comparação dos dados secundários com os resultados encontrados no monitoramento das áreas da **BHrD** mostrou que alguns grupos de abelhas com ampla distribuição e frequentemente presentes nos inventários faunísticos estiveram ausentes ou em baixa frequência. Diferenças na composição da melitofauna estão sempre relacionadas as buscas de recursos para reprodução. Alterações ambientais podem afetar diretamente as fontes alimentares de adultos e larvas, além dos locais e materiais para construção de ninhos. Estudos mostram que as fontes alimentares utilizadas pelas abelhas para alimentação das larvas (bolas de pólen e saliva) podem ser bioindicadores importantes de metais pesados (ANTUNES, 2018; OLIVEIRA et al., 2014; ROMAN, 2009).

Apesar das fontes de recursos não terem sido analisados, o levantamento das espécies indicou a presença de abelhas que podem ser utilizadas como indicadoras de impacto ambiental. *Apis mellifera* é uma espécie amplamente estudada como bioindicadora de metais pesados (BARGAÑSKA; ŚLEBIODA; NAMIEŚNIK, 2016; SADEGHI et al., 2012b; SKORBIŁOWICZ; SKORBIŁOWICZ; CIEŚLUK, 2018; ZARIĆ et al., 2016). As abelhas sem ferrão da subtribo Meliponina, representadas aqui por 31 espécies, também podem ser utilizadas como bioindicadoras (SILVA; PAZ, 2012). As abelhas do gênero *Bombus*, conhecidas mundialmente como *bumblebees*, também são citadas

como bioindicadoras de qualidade de ambiente (DIAZ-FORERO et al., 2011; MEINDL; ASHMAN, 2013). Além delas, as abelhas solitárias, como as espécies do gênero *Xylocopa*, também podem ser utilizadas como bioindicadoras da presença de metais pesados (ANTUNES, 2018).

Outro registro importante foi a presença de espécies indicadoras de ambientes mais preservados, como as Euglossina do grupo *Analís* (CERÍACO; GUTIÉRREZ; DUBOIS, 2016; FARIA; MELO, 2012b). *Euglossa botocuda* e *E. calycina* foram coletadas apenas nas áreas BA1a e BA1b, enquanto *E. cognata* também foi coletada na área BA3. Outras abelhas importantes coletadas são as espécies que toleram altos graus de perturbação (NEMÉSIO, 2009b), como *Eulaema nigríta* (BA2, BA3, BA1a e 1b), *E. marcii* (todos os BA), *Euglossa cordata* (todos os BA) e *E. securigera* (BA4). Esses resultados indicam que o estado de conservação do local é relativamente heterogêneo, com recursos que permitem sustentar uma comunidade de abelhas com diferentes exigências quanto ao ambiente. É importante destacar também o registro de espécies não relatadas anteriormente para **Área de Estudo**, aspecto importante no que diz respeito ao conhecimento da biota, história de vida e distribuição das espécies de abelhas.

Observamos, através do GLM, que o aumento da distância da margem do rio Doce, houve um aumento significativo da riqueza de abelhas nos Blocos Amostrais BA1b e BA3 nas *Parcelas Terrestres*. É possível identificar “quebras” no comportamento das curvas de riqueza em torno de 500 m para os BA1b, BA2 e BA4, ca. 1.500 m para o BA3 e 6.000 m para o BA1a (**Quadro 41**). O aumento da riqueza de abelhas em relação à distância da margem do rio pode estar relacionado com a considerável perda de habitats observada próximo aos corpos d’água entre os anos de 2015-2016.

Os resultados das análises do NMDS, também destacam que a presença de corpos aquáticos está entre as variáveis que explicaram significativamente a variação da composição e abundância das comunidades de abelhas em BA1a, BA1b e BA3 nas *Parcelas Terrestres* (**Quadro 41**). Isso indica que a composição da comunidade destes organismos está sob influência desta variável, mas como não é congruente com os dados das *Parcelas Ripárias*, é menos provável que sofram influência da onda de rejeitos da barragem de Fundão. Já a distância do rio Doce foi uma das variáveis que explicaram de forma significativa os padrões das comunidades de abelhas nas *Parcelas Terrestres* em BA1a, assim como mostrado nas análises da GLM. Como não observamos o mesmo resultado para as *Parcelas Ripárias* é mais provável que essa variação da riqueza responda a outra dinâmica ecológica local ou regional. Esse

resultado traz uma pergunta que ainda não foi testada na literatura de abelhas: “quão variável é a diversidade de abelhas em relação a distância de corpos d’água?” Nesse caso observamos aumento de diversidade, mas isso seria esperável em qualquer fitofisionomia de um domínio morfoclimático tropical?

A distância de Unidade de Conservação mais próxima também explicou a variação da composição e abundância das comunidades de abelhas em BA2 e BA1b, nas *Parcelas Terrestres* e *Ripárias* respectivamente. Este resultado pode estar relacionado a grande quantidade de abelhas da subtribo Euglossina coletadas nessas áreas. Algumas espécies dessa subtribo são bioindicadoras de qualidade ambiental de áreas de matas e foram nesses BA que coletamos o maior número de espécies de *Euglossa*. Ademais, os resultados do NMDS também mostraram que as comunidades estiveram sensivelmente diferentes em sua composição no tempo e isto esteve relacionado as distâncias de zonas urbanas (“município”) e ambientes alterados pelas atividades humanas (“uso degradado”) nos BA1a e BA1b, nas *Parcelas Terrestres* e *Ripárias*, respectivamente (**Quadro 41**).

Quadro 41. Resumo quantitativo das distâncias em relação ao rio Doce e variáveis de uso e cobertura do solo de influência para as Abelhas durante as campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Abordagem / Bloco amostral	BA4	BA3	BA2	BA1b	BA1a
Distância do rio Doce (m)					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	-	-	-	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	500	1.500	500	500	6.000
Uso e cobertura do solo - Composição de espécies					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	-	Municípios, UCs, cobertura degradada	-	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	Aquático	UCs	Aquático	Aquático, rio Doce, cobertura degradada

Observamos, através das análises de metais pesados no solo (**Volume I, Gráfico 16**), que a concentração de níquel nos BA diminuiu com o aumento da distância da margem do rio Doce. Esse padrão não necessariamente reflete o grau de impacto que as espécies sofreram com o rompimento da barragem de Fundão. Porém, curiosamente,

um estudo mostra que as espécies do gênero *Bombus* modificam o comportamento de forrageamento, evitando as flores que apresentam índices de contaminação com níquel (MEINDL; ASHMAN, 2013). Essa relação não pode ser analisada nesse estudo, já que foram capturados poucos espécimes de *Bombus* e eles não foram utilizados para a análise de metais pesados. Porém, além do alto nível de níquel nos solos, as análises de metais pesados em adultos de abelhas *Apis mellifera* mostraram níveis altos de cromo, chumbo na área BA1a e manganês em todos os BAs. O acúmulo de metais nos corpos das abelhas adultas, mesmo após quatro anos do rompimento da barragem, pode sugerir uma boa evidência de contaminação nas áreas de estudo, mas não diretamente atribuível ao rejeito. Mais amostras de *Apis mellifera* e outras espécies, se capturadas em quantidade suficiente, serão essenciais para o entendimento de como os metais pesados estão presentes nas comunidades de abelhas na **Área de Estudo**.

O estudo da flora do **BHRD** mostrou grande predominância de angiospermas do domínio de Mata Atlântica brasileira. Grande parte da flora amostrada tem as abelhas como o principal polinizador, como é o caso de plantas com ampla ocorrência nos municípios da **BHRD**, como *Myrcia splendens*, *Pseudopiptadenia contorta*, *Mabea fistulifera* e *Pterocarpus rohrii*. A dependência das abelhas para polinização também pode ser vista em várias espécies de plantas amostradas e consideradas nas categorias “em perigo” e “vulnerável” de extinção, como *Apuleia leiocarpa*, *Cariniana legalis*, *Dalbergia nigra*, *Euterpe edulis*, *Handroanthus riocercensis* e *Ocotea odorífera*. O estudo atual não teve como objetivo mostrar a relação das abelhas e da flora local, mas estudos futuros podem considerar a análise do pólen coletado pelas abelhas.

As coletas permitiram uma amostragem satisfatória e próxima da riqueza estimada nas áreas de amostragem. No entanto, alguns ajustes metodológicos ao detalhamento apresentado no Parecer Técnico 01/2017 (IBAMA-COREC, 2017a) podem auxiliar na busca das respostas através do estudo das abelhas. Sugerimos a modificação do horário e o aumento do esforço de coleta para *busca ativa* com auxílio de rede entomológica. Como as abelhas possuem hábitos variados e a maioria delas sai dos ninhos em busca de recursos no início da manhã, seria mais eficiente iniciar as coletas ativas do grupo às 8hs e não às 10hs. No período mais quente do dia, entre 11:00-13:00h é difícil encontrar abelhas ativas. Esse intervalo de tempo poderia ser utilizado para o monitoramento das armadilhas de *captura passiva*. A *busca ativa* foi mais eficiente na captura de espécimes solitários que fazem ninhos em troncos de árvores e nos solos, como as abelhas do gênero *Centris*, *Epicharis* e *Xylocopa*. Além disso, esse

método também foi responsável pela coleta de uma maior riqueza de abelhas sociais, como as abelhas sem ferrão e as *Bombus*.

Outra recomendação de ajuste metodológico seria a redução do tempo de uso das armadilhas com iscas aromáticas, que permaneciam em funcionamento por 3 a 4 dias consecutivos. Para continuação do monitoramento, sugerimos que cada conjunto de armadilhas com *iscas aromáticas* permaneça apenas um dia, ca. 8h instalado. A redução do tempo de uso permite o registro das espécies coletadas por essas armadilhas (atrativas apenas para os machos de Euglossina) e libera tempo para investir em *busca ativa*, método que torna possível a coleta de outras abelhas também bioindicadoras. Dessa forma, a redução do tempo de uso das armadilhas com iscas aromáticas e o aumento do tempo de *busca ativa* empregaria de forma mais eficaz os recursos investidos nas coletas.

3.2.2.5.1. Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento

No Parecer Técnico nº 01/2017 (IBAMA-COREC, 2017a), os órgãos ambientais levantaram oito perguntas principais que são o foco do presente estudo. Após o primeiro ano de monitoramento as abelhas ao longo do rio Doce e seus tributários, foi possível avaliar se tais questões são factíveis de serem respondidas ou não. Abaixo estão as questões com seus respectivos comentários.

1) Qual o impacto do evento sobre as espécies da fauna terrestre e aquática?

Detectamos variação significativa da riqueza de abelhas em função da distância do rio Doce, com incremento da riqueza com o aumento da distância. O mesmo não ocorreu em relação às *Parcelas Ripárias* em nenhum dos BAs. A composição de espécies também variou em função da distância do rio Doce, novamente apenas ligado às *Parcelas Terrestres*, e isto provavelmente tem menos a ver com possíveis impactos do rompimento da barragem de Fundão, e é mais provável que essa variação da riqueza responda a outra dinâmica ecológica local ou regional.

2) Houve acumulação de metais nas diferentes espécies e no solo?

Detectamos concentrações de 3 metais pesados acima dos níveis referência conhecidos para invertebrados, sendo que apenas o manganês esteve elevado para as 4 amostras analisadas. Mesmo assim, o número de amostras conseguidas em campo foi baixo e pontual, não permitindo, portanto, conclusão sobre o tema até o momento.

3) Até qual distância do rio Doce a acumulação de metais foi observada?

Devido ao baixo número de amostras que conseguimos não podemos responder a essa pergunta até o momento.

4) Como os metais pesados estão circulando nas cadeias?

Não é possível responder a essa pergunta, pois não há metodologia específica no presente estudo que permita tal avaliação. O delineamento atual do estudo não prevê o estudo específico e testes para descoberta e descrição de relações tróficas, que eventualmente poderiam ser testadas quanto a suas taxas de transmissão de metais pesados.

5) Como as taxas de ocupação das diferentes espécies são afetadas pelas distâncias de rios, bordas, estradas e ferrovias, e aspectos físicos e químicos?

Em relação à distância do rio Doce, isto foi avaliado especificamente e é apresentado nos resultados deste relatório, sendo, portanto, atendido. Quanto às “bordas, estradas e ferrovias” não possuem relação com as áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão. Por isso, não podem ser respondidas com os dados que são coletados pelo presente monitoramento.

6) Áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC) e aquelas fora de UC são semelhantes em termos de estruturas de comunidades ou são complementares?

De modo geral foram complementares, embora o delineamento amostral não seja feito para responder a essa questão. Além disso, esta pergunta da forma que é apresentada não contribui para o entendimento do impacto do rompimento da barragem de Fundão sobre a melitofauna.

7) Como se dará a recolonização das áreas que foram restauradas?

Nenhuma parcela amostrada se encontra em áreas restauradas, por isso, não existe a possibilidade de responder essa pergunta.

8) É possível detectar mudanças na composição de espécies de fauna terrestre afetadas pelo desastre?

Como quase nenhuma parcela amostrada está dentro das áreas diretamente afetadas pela onda de rejeitos, dificilmente esta pergunta poderá ser avaliada e respondida. Para avalia-la de forma objetiva o monitoramento deve ser focado em áreas diretamente afetadas e não afetadas para que se consiga fazer uma associação direta com o rompimento da barragem de Fundão.

3.2.3. Ordem Hymenoptera, Família Formicidae

3.2.3.1. Introdução

A crescente e intensiva exploração dos recursos naturais nos ambientes naturais tem levado à necessidade de medição e/ou monitoramento do nível destes impactos (SÁNCHEZ, 2015). Os bioindicadores são uma maneira útil de avaliar tais impactos, uma vez que mudanças em suas dinâmicas populacionais ou parâmetros na estrutura de comunidade podem indicar um estado ambiental com mais facilidade, rapidez e segurança (GOODSELL; UNDERWOOD; CHAPMAN, 2009; NIEMI; MCDONALD, 2004).

As formigas são insetos pertencentes a ordem Hymenoptera e classificados dentro de apenas uma família, Formicidae (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990). Dentre os artrópodes que habitam o chão ou dossel das florestas tropicais, as formigas estão entre os organismos mais abundantes, representando 90% dos indivíduos e até 95% da biomassa animal (MOFFETT, 2000). As formigas também constituem um grupo com grande diversidade de espécies. Estima-se que no mundo o número de espécies exceda 25.000, sendo ca. 12.500 já descritas em 17 subfamílias viventes e 330 gêneros (BOLTON, 2019; BOLTON et al., 2006; WARD, 2010). O Brasil possui registros de ocorrência ca. 1.550 espécies, 13 subfamílias e 130 gêneros em seu território (BACCARO et al., 2015; WARD, 2013).

Dentre os bioindicadores, as formigas estão entre os grupos capazes de prover informações sobre o estado de conservação e/ou degradação de uma área (AGOSTI et al., 2000). Em geral, as características que as tornam excelente bioindicadores são sua ampla distribuição, alta abundância e diversidade, amostragem e identificação taxonômica relativamente fáceis (ALONSO, 2000; ANDERSEN, 2019; UNDERWOOD; FISHER, 2006). Sua eficiência como indicador é verificável em inúmeros estudos sobre diferentes impactos, como mineração, queimadas, desmatamento, exploração madeireira, intensificação agrícola e urbanização (ANDERSEN; MAJER, 2004; LACAU et al., 2008; MAJER, 1983, 1992; PHILPOTT; PERFECTO; PARR, 2010; RIBAS et al., 2012a; UNDERWOOD; FISHER, 2006).

As comunidades de formigas ao longo da **BHrD** ainda são pouco conhecidas. Desde a colonização da região até os dias atuais, a vegetação nativa da Bacia vem sendo suprimida para dar lugar a mineração e agropecuária, o que provoca fragmentação e

perda de habitat natural (HORA et al., 2012). As informações disponíveis sobre as espécies da Bacia são concentradas em UCs, como nos Parques Estaduais do Itacolomi e do Rio Doce, em Minas Gerais, e Reserva Natural da Vale, Reserva Biológica Sooretama, no Espírito Santo (CASTRO et al., 2012; COELHO; RIBEIRO, 2006; GONTIJO et al., 2007; LOURENÇO; CAMPOS; RIBEIRO, 2015; RIBAS et al., 2012a; TEIXEIRA; SANTOS; SCHOEREDER, 2008; TEIXEIRA; SCHOEREDER; LOUZADA, 2004). Estudos desenvolvidos na região têm apontado a importância de áreas prioritárias para conservação e manutenção da diversidade, sobretudo para as espécies de formigas presentes no Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018). Das 13 espécies ameaçadas em algum grau, quatro apresentam distribuição restrita a região monitorada pelo presente estudo, sendo três associadas à Mata Atlântica e uma ao ecossistema de restinga.

No Brasil, o uso de formigas como bioindicadoras em áreas sob influência da mineração já foi feito em áreas inseridas na Mata Atlântica (MAJER, 1992; PEREIRA et al., 2007). Tais estudos mostraram que as comunidades de formigas perdem espécies e mudam em sua composição em ambientes sob tais influências. Como a família Formicidae é um grupo comumente utilizado em avaliações de impactos é bem credenciado para a análise do efeito do rompimento da barragem do Fundão, em Mariana, MG.

3.2.3.2. Objetivos específicos

- Determinar a intensidade e amplitude do impacto do rompimento da barragem de Fundão sobre a riqueza de espécies de formigas;
- Detectar mudanças na composição das espécies da fauna de formigas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão;
- Definir os grupos funcionais da comunidade de Formicidae;
- Definir espécies indicadoras da fauna de Formicidae, áreas prioritárias e processos ecológicos que serão objeto de monitoramento de longo prazo em programas específicos (após o primeiro ano de avaliação);
- Avaliar como se dará a recolonização de áreas diretamente afetadas.
- Detectar e avaliar a acumulação de metais na fauna de Formicidae.

3.2.3.3. Material e métodos

3.2.3.3.1. Período de coleta e equipe

A campanha da estação seca foi dividida em duas etapas que foram conduzidas por duas equipes de campo. A equipe 1, coordenada pelo biólogo José Eduardo Falcon, realizou sua primeira etapa entre os dias 07 e 29 de julho e a segunda etapa entre os dias 15 e 30 de setembro de 2018, em Minas Gerais. A equipe 2, coordenada pelo biólogo Filipe Pola, cumpriu sua primeira etapa de campo entre os dias 12 e 31 de julho e a segunda etapa entre os dias 28 de agosto à 26 de setembro de 2018, no Espírito Santo e em Aimorés, Minas Gerais (**Quadro 42**). A campanha da estação chuvosa foi realizada entre os dias 25 de janeiro e 28 de março de 2019. O estudo foi desenvolvido por duas equipes de campo, a equipe 1, coordenada pelo biólogo José Eduardo Falcon no estado do Espírito Santo, e a equipe 2, coordenada pela bióloga Maria Olívia Sanna no estado de Minas Gerais (**Quadro 42**).

Quadro 42. Períodos de campo das equipes durante duas campanhas, uma na estação seca e outra na estação chuvosa, para amostragem de Formicidae no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Estação	Equipe	Período	Total de dias
Seca	1	07/07/18 até 29/07/18	22
Seca	1	15/09/18 até 30/09/18	15
Seca	2	12/07/18 até 31/07/18	19
Seca	2	28/08/18 até 26/09/18	29
Chuvosa	1	25/01/19 até 28/02/19	35
Chuvosa	2	29/01/19 até 22/02/19	25
Chuvosa	2	20/03/19 até 28/03/19	09

3.2.3.3.2. Área de estudo

A **Área de Estudo** se estende a jusante da barragem de Fundão, em Mariana (Minas Gerais) até a foz do rio Doce, em Linhares (Espírito Santo; **Volume I, Mapa 1**). A área faz parte do domínio morfoclimático da Mata Atlântica e está localizada na Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, mais especificamente na **BHRD**.

3.2.3.3.2.1. Dados secundários da Bacia hidrográfica do rio Doce

Para o levantamento de dados secundários foram utilizadas as bases de dados [Google Scholar](#) e [SciELO](#), e o site [AntWeb](#), reconhecido por ser a maior base de dados mirmecológicos do mundo. Os dados do *AntWeb* foram extraídos de uma busca avançada aplicando-se filtros de distribuição geográfica para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, separadamente. O resultado foi estruturado em planilha para seleção das espécies coletadas na área da **BHRD**. Para as demais fontes foram utilizadas as ferramentas de busca avançada disponíveis nas plataformas com os seguintes termos: “Formicidae Minas Gerais”, “Formicidae Espírito Santo”, “Formicidae rio Doce”. Os estudos encontrados foram selecionados, baixados e as listas disponíveis foram incorporadas na base de dados (**APÊNDICE 26**).

3.2.3.3.2.2. Coleta de dados

Para a coleta das formigas em campo foram utilizadas armadilhas de queda tipo *pitfall* e armadilhas atrativas comestíveis (BESTELMEYER et al., 2000). As armadilhas foram distribuídas a cada 50 m ao longo de parcelas de 250 m de comprimento, seguindo o protocolo RAPELD (**Volume I, Capítulo 6**) (MAGNUSSON et al., 2005), totalizando seis amostras por parcela. Cada amostra é composta pelo conjunto das três armadilhas, uma armadilha do tipo *pitfall*, uma armadilha de isca de sardinha e outra de isca de pão com mel (**Figura 27**). Cada conjunto de três armadilhas foram distribuídas paralelamente ao piquete da parcela, equidistantes 2 m. Para a estação seca foi amostrado um total de 86 parcelas e 1.548 armadilhas, sendo 516 *pitfalls*, 516 iscas de sardinha e 516 iscas de mel/pão. Durante a estação chuvosa amostramos 84 parcelas das 108 possíveis, instalamos 488 *pitfalls*, 497 iscas de sardinha e 497 iscas de pão com mel, totalizando 1.482 armadilhas. Nesta campanha, 24 parcelas não puderam ser amostradas: módulo 1T (Regência, ES); e módulo 18TA (Timóteo, MG). Nos dias em que tais parcelas seriam amostradas, ocorreu o rompimento da barragem de Brumadinho, MG. Por determinação da **Fundação RENOVA**, todos os trabalhos foram suspensos durante 3 dias. Os módulos 4T e IF (Linhares, ES) e 15TA2P (Resplendor, MG) também não foram acessados por falta de segurança, e as parcelas 1P7I (Linhares, ES) não foi acessada devido a cheia do rio. As parcelas 22T2P e 2P, 3P e 5P do módulo 23T (Mariana, MG), não foram amostradas pois as parcelas não estavam liberadas durante as datas da campanha.

Um total de 30 amostras, 16 *pitfalls*, 7 iscas de pão e mel e 7 iscas de sardinha, foram perdidas ou estragadas devido a enxurradas e em outros casos não foi possível amostrar a parte final de algumas parcelas devido a alagamentos ou a vegetação alta e densa impedindo o acesso.

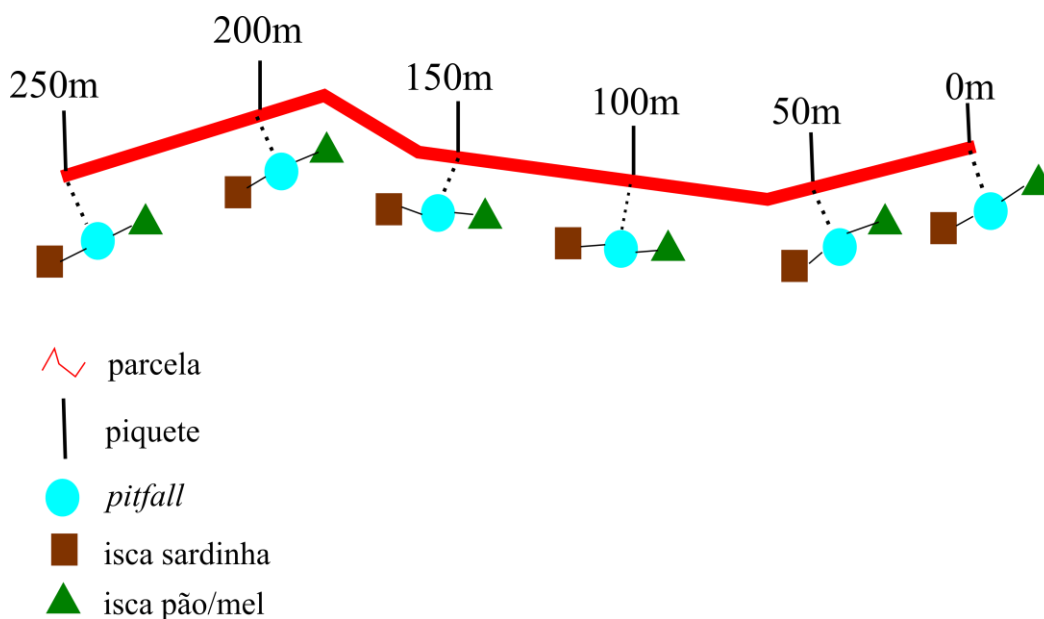


Figura 27. Distribuição das armadilhas, *pitfall*, iscas de sardinha e iscas de mel/pão, para coleta de Formicidae durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.3.3.2.2.1. *Pitfalls*

Foram usados potes plásticos de 80 mm de diâmetro por 110 mm de profundidade, enterrados no chão com sua abertura ao nível do solo (**Figura 28**) com auxílio de cavadeiras e pás de jardinagem. Cada armadilha foi preenchida até um terço de seu volume com solução salina de água (5%) e algumas gotas de detergente líquido (AQUINO; AGUIAR-MENEZES; QUEIROZ, 2006). O detergente quebra a tensão superficial da água fazendo com os insetos afundem após caírem (ALMEIDA; RIBEIRO-COSTA; MARINONI, 2003). O período de exposição dos *pitfalls* no solo foi de 48 horas.

3.2.3.3.2.2.2. Iscas

As armadilhas de iscas comestíveis consistiam de um alimento atrativo rico em proteína (sardinha) e um rico em carboidratos (pão com mel), dispostos no solo sobre pedaços de papel branco (10 x 10 cm), equidistantes 2 m (**Figura 28** e **Figura 29**). As iscas ficaram expostas no solo por um período mínimo de 1 h. Após este tempo foram coletados indivíduos testemunhos das espécies atraídas. Este período de exposição é considerado suficiente para que espécies de formigas dominantes em uma área descubram e recrutem os indivíduos para o recurso (BESTELMEYER et al., 2000).

Todo o material biológico coletado foi acondicionado em tubos do tipo *Falcon* e *ependorf* refrigerados/congelados para posterior triagem, identificação e análise de concentração de metais pesados em amostras selecionadas. Exemplares da mirmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) coletados e identificados serão depositados na Coleção de Formicidae do Laboratório de Mirmecologia (CPDC), Setor de Fitotecnia do Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), curador Dr. Jacques H. C. Delabie.

3.2.3.3.2.2.3. Grupos funcionais

Vários estudos tem usado diferentes classificações de grupos funcionais (GF) para as formigas. Para o presente estudo seguimos a classificação de estudos recentes (BRANDÃO; SILVA; DELABIE, 2012; DELABIE; AGOSTI; NASCIMENTO, 2000; KOCH et al., 2019; SILVA et al., 2015). Em alguns poucos casos não foi possível a classificação de GF para espécie ou gênero para as formigas coletadas. A classificação de GF usada por esses autores fundamenta-se em informações de história natural, filogenia, distribuição de microhabitat e em características morfológicas como tamanho dos olhos, tamanho do corpo, mandíbula, e a forma do corpo. A classificação usada foi:

- AA - Formigas de correição ou formigas legionárias (*army-ants*);
- AO - Arbóreas onívoras (*arboreus omnivore*);
- DP - Dacetine predadora (*dacetine predator*);
- EHD - Dependente exclusivo de homópteros (*exclusive homopteran dependent*);
- FG - Produtor de fungos (*fungus-grower*);
- LAP - Predador generalista arbóreo grande/médio porte (*large/medium-sized arboreous generalist predator*);
- LEO - Onívoro epigeico grande/médio porte (*large/medium-sized epigeic omnivore*);
- LEP - Grande predador generalista epigeico (*large epigeic generalist predator*);

- MLO - Onívoro de serapilheira/hipogeico de médio porte (*medium-sized litter/hypogeic omnivore*);
- MLP - Predador generalista de serapilheira/hipogeico de médio porte (*medium-sized litter/hypogeic generalist predator*);
- SLP - Pequeno predador generalista epigeico/serapilheira/hipogeico (*small epigeic/litter/hypogeic generalist predator*);
- SO - Generalista epigeico/serapilheira/hipogeico pequeno (*small epigeic/ litter/hypogeic omnivore*);
- SSP - Forrageador/predador de solo especialista (*soil specialized forager/predator*).

3.2.3.3.2.3. Análise dos Dados

Para avaliação dos impactos sobre a fauna de formigas do rio Doce nas **Áreas Afetadas** pelo rompimento da barragem de Fundão foram feitas análises em duas da área do rompimento, até a foz, separadamente para os Blocos Amostrais (**Volume I, Mapa 7**). A Abordagem 1 abordou divisão geral em **Áreas Não Afetadas** e **Áreas Afetadas** (**Volume I, Quadro 8**) das *Parcelas Terrestres*. A Abordagem 2 foi focada nas *Parcelas Ripárias*, em comparação com áreas supostamente não afetadas, mas dentro da **Área de Estudo**. A Abordagem 2 é uma tentativa de indicar sinais do impacto causado pelo rompimento da barragem para espécies com mobilidade reduzida ou limitada.

3.2.3.3.2.3.1. Análises gerais

Consideramos separadamente as iscas mel/pão, sardinha e *pitfalls* para as análises por BA observando o número de espécies totais coletadas, e comparado posteriormente através de diagramas de Venn. Montamos curvas de extrapolação de espécies e completude de amostragem (CHAO; JOST, 2012) usando o *iNext online (interpolation and extrapolation*; HSIEH; MA; CHAO, 2016) para estimar a riqueza de espécies em uma possível amostragem duas vezes maior. São curvas adequadas para comparações de amostras de tamanhos distintos e têm intervalo de confiança de 95%. Por fim, calculamos índices de diversidade de espécie para as formigas de cada BA para cada método através do índice invertido de *Simpson* (Inv-*Simpson*), um índice robusto, que captura a variância da distribuição da abundância das espécies, não é afetado pelo tamanho amostral. Neste índice, valores elevados representam comunidades mais diversas e menor dominância (MAGURRAN, 2004).



Figura 28. Biólogo instalando *pitfall* para captura de Formicidae (esquerda), durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A direita, detalhe da armadilha posicionada para captura.



Figura 29. Armadilha atrativas para captura de Formicidae, a esquerda isca de pão com mel, e a direita isca de sardinha, usadas durante as campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.3.3.2.3.2. Análises unificadas

A equipe da **Bicho do Mato Meio Ambiente Ltda.** realizou análises de Modelos Lineares Generalizados (GLMs) para avaliar a importância da variável preditora (distância do rio Doce) sobre a riqueza de espécies de formigas (variável resposta) separando o banco de dados pelo método empregado (iscas e *pitfalls*) para cada BA e estações. A análise foi realizada para as duas abordagens (*Parcelas Terrestres* e *Ripárias*). Nos modelos foi utilizada a distribuição de erros Poisson e corrigidos quando necessário (CRAWLEY, 2013).

Além disso, também realizaram Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) para investigar a relação entre a composição e abundância de espécies em função do uso do solo, distância do rio Doce, da barragem de Fundão, de centros urbanos mais próximos e de Unidades de Conservação. As matrizes de distância foram geradas a partir do Coeficiente de similaridade de *Bray-Curtis* (BRAY; CURTIS, 1957).

3.2.3.3.2.3.3. Análises específicas

Realizamos GLMs para avaliar a importância das variáveis preditoras distância da barragem, distância do rio Doce, heterogeneidade da paisagem, percentual da área nativa dentro do *buffer*, densidade de sub-bosque e densidade da floresta sobre a riqueza de espécies de formigas separando-as em formigas de mel, sardinha e formigas de *pitfalls* e repetindo as análises em cada BA separadamente nas estações seca e chuvosa. Esta análise foi realizada para a Abordagem 1. Para a Abordagem 2, em razão de menor número de amostras analisamos todas as *Parcelas Ripárias* juntas, acrescentando o BA como variável para avaliar se ela não era a única responsável pela variação na riqueza de formigas. Nos modelos foi utilizada a distribuição de erros Poisson com correções quando necessário (CRAWLEY, 2013). As análises para a similaridade de espécies seguiram os mesmos moldes das análises de riqueza de espécies de formigas, mas a variável resposta, no caso, foi à similaridade de espécies entre parcelas de cada BA. Além disso, para estas análises, a distribuição de erros utilizada foi a normal.

Para verificar a existência de espécies indicadoras em cada BA amostrado e capturadas em diferentes estações e com diferentes métodos e abordagens realizamos análises de *Indval* (DUFRÊNE; LEGENDRE, 1997), no pacote *labdsv* (ROBERTS, 2016). As espécies com valores de indicação maiores que 70% foram consideradas indicadoras

características, fortemente ligadas aos tratamentos. Já as com valor de indicação entre 50-70% foram consideradas espécies detetoras, que demonstram mudanças no habitat (MCGEOCH; RENSBURG; BOTES, 2002). Valores significativos e menores que 50% não foram considerados. Todas as análises foram realizadas no Programa R (R CORE TEAM, 2018).

3.2.3.4. Resultados

3.2.3.4.1. Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce

O Diagnóstico de Formicidae na **BHRD** foi realizado com base nos registros de dados secundários levantados através de diferentes fontes ([AntCat](#), [AntWeb](#), artigos científicos, teses e dissertações). Até o momento, 271 espécies formigas foram registradas; as morfoespécies não foram contabilizadas (**APÊNDICE 27**). São 74 gêneros distribuídos em 10 subfamílias: Amblyoponinae (1 gênero e 2 spp.); Dolichoderinae (5 gêneros e 21 spp.); Dorylinae (8 gêneros e 18 spp.); Ectatomminae (3 gêneros e 14 spp.); Formicinae (6 gêneros e 39 spp.); Heteroponerinae (2 gêneros e 6 spp.); Myrmicinae (33 gêneros e 122 spp.); Ponerinae (13 gêneros e 41 spp.); Proceratiinae (2 gêneros e 2 spp.) e Pseudomyrmecinae (1 gênero e 6 spp.). Podemos destacar o registro de 4 espécies de formigas das 13 que constam no Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018), pelos critérios IUCN no Brasil (IUCN, 2019). As 4 espécies, *Anochetus oriens* Kempf, 1964, *Atta robusta* Borgmeier, 1939, *Dinoponera lucida* Emery, 1901 e *Diaphoromyrma sofiae* Fernández, Delabie e Nascimento, 2009, têm seus registros em áreas prioritárias para a conservação (MMA, 2003) e, estão localizadas nas proximidades das áreas de estudo.

Altos níveis de fragmentação e degradação do habitat são fatores relevantes para a mobilidade dessas espécies. *Anochetus oriens* (VU) é endêmica do Brasil, conhecida de três localidades, na REBIO de Sooretama, ES, próxima à região do presente estudo, e duas no estado da Bahia, nos municípios de Castro Alves e Jussari (DELABIE et al., 2015). *Dinoponera lucida* (EN) é uma espécie endêmica do corredor central da Mata Atlântica, que se estende do sul da Bahia até o Espírito Santo, com registros em Sooretama, Linhares e Regência, e ocupa pequenas áreas de floresta isolada do leste de Minas Gerais (DELABIE et al., 2015). *Atta robusta* (VU) possui distribuição limitada, o endemismo ocorre apenas nas restingas, desde o sul do Rio de Janeiro até o norte do Espírito Santo (TEIXEIRA; SCHOEREDER; MAYHÉ-NUNES, 2003).

3.2.3.4.2. Diagnóstico de Formicidae na Área de Estudo

Foram registradas 366 espécies de formigas, incluindo morfoespécies (**APÊNDICE 27**), distribuídos em 59 gêneros e 8 subfamílias: Dolichoderinae (6 gêneros e 24 spp.); Dorylinae (4 gêneros e 10 spp.); Ectatomminae (2 gêneros e 16 spp.); Formicinae (7 gêneros e 68 spp.); Heteroponerinae (1 gênero e 1 espécie; Myrmicinae (27 e 202 spp.); Ponerinae (11 e 33 spp.) e Pseudomyrmecinae (1 gênero e 12 spp.). Registramos 2 spp. com grande importância para a conservação nas armadilhas *pitfall*: *Dinoponera lucida* e *Atta robusta*, ambas no município de Linhares, ES. Destacamos também entre as demais espécies coletadas o registro de *Heteroponera microps* Borgmeier, 1957, no Bloco Amostral BA3 no município de Marliéria, MG, pois trata-se de uma espécie endêmica da Mata Atlântica (**APÊNDICE 27**). Também destacamos o registro da *Neoponera magnifica* (Borgmeier, 1929) no BA1, ES, pois trata-se de uma espécie incomum e de difícil amostragem, que permanece como um enigma dentro da subfamília Ponerinae. Atualmente, existem poucas informações sobre sua distribuição geográfica, biologia e história natural (MACKAY; MACKAY, 2010), dessa forma, apenas estudos futuros poderão determinar a importância ecológica dessa espécie.

O total de espécies de formigas por Blocos Amostrais foi de 34, 72, 40, 60 e 56 espécies em BA1a, BA1b, BA2, BA3 e BA4, respectivamente, utilizando a isca mel. Utilizando a isca sardinha coletamos 26, 73, 49, 51 e 67 espécies. Por fim, com a armadilha *pitfall* foram 96, 130, 114, 150 e 122 espécies de formigas. Observando a captura das espécies por armadilha com os diagramas de Venn (**Figura 30**) vimos que em todos os BA os *pitfalls* foram mais eficientes para a captura da diversidade total. Os *pitfalls* capturaram 91,4%, 90,7%, 91,6%, 92,2% e 84,3% do total de espécies formigas amostradas em BA1a, BA1b, BA2, BA3 e BA4, respectivamente.

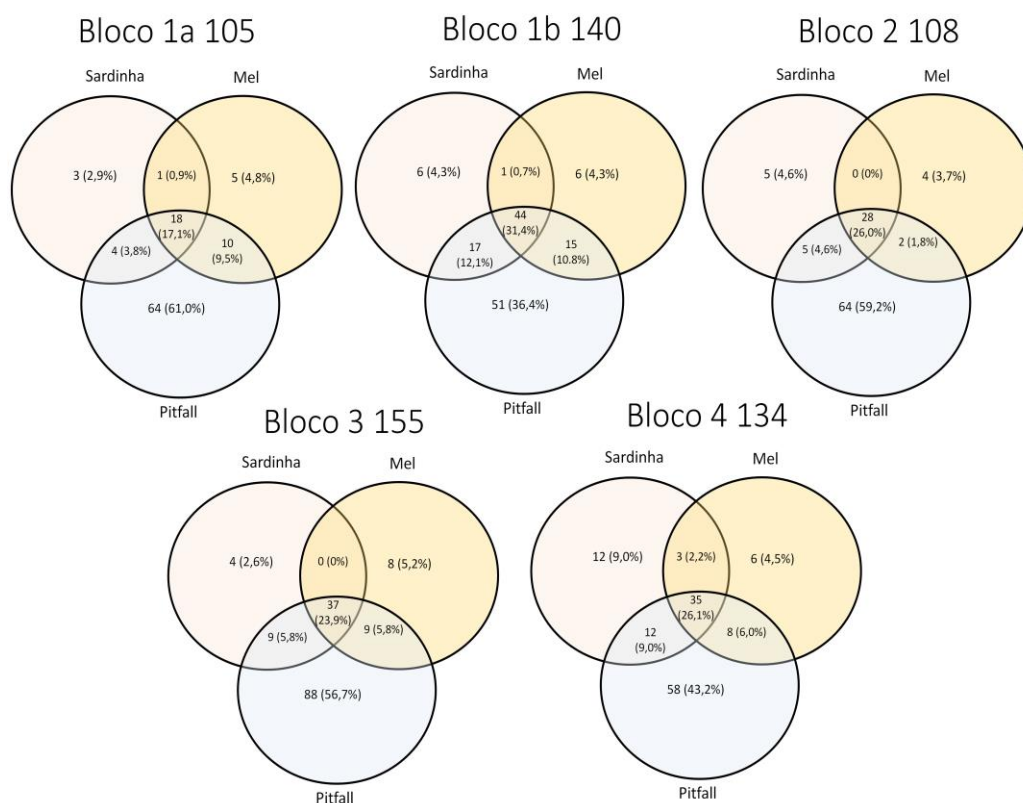


Figura 30. Diagramas de Venn com o total de espécies de Formicidae coletadas por método e a quantidade compartilhadas entre métodos do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.3.4.2.1. Resultados gerais

3.2.3.4.2.1.1. Curvas de extrapolação

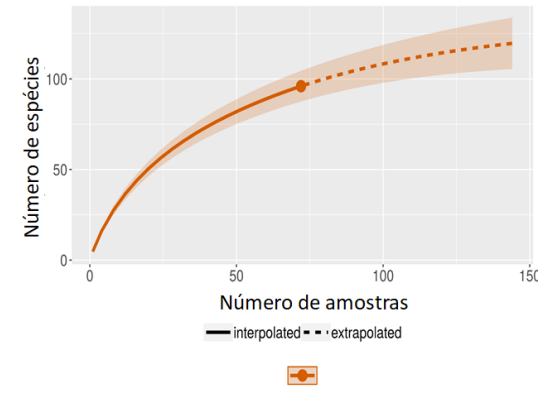
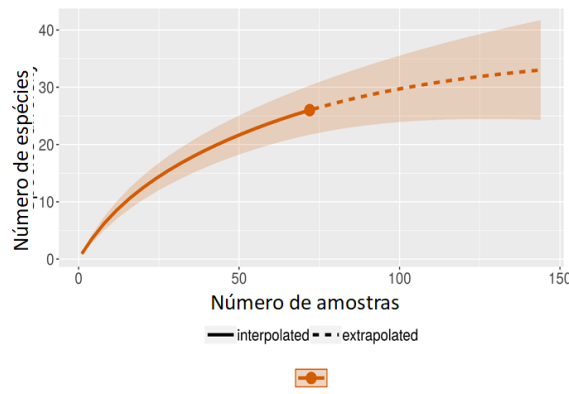
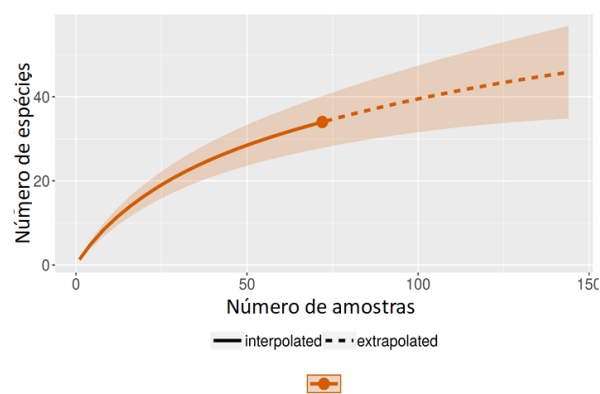
Todas as curvas de extrapolação e cobertura de amostragem (**Figura 31**) mostram que as coletas atingiram boa amostragem com grande representatividade na captura da maioria das espécies em cada BA (> 80%; **Figura 32**) independente da técnica utilizada. Para as amostras de *pitfalls* nos BA1b, BA2, BA3 e BA4 obtivemos valores das curvas de cobertura próximas da completude de amostragem para toda a assembleia.

MEL

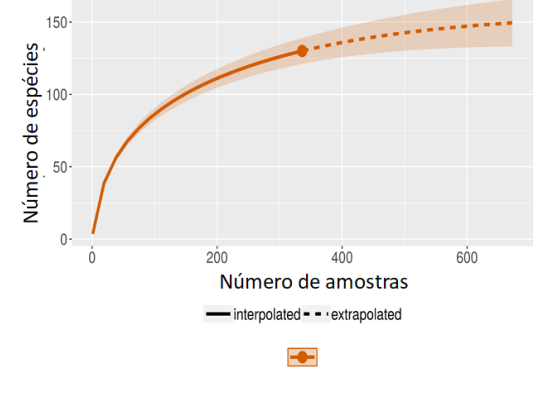
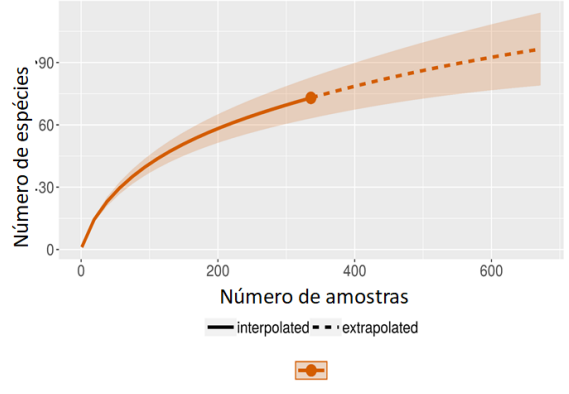
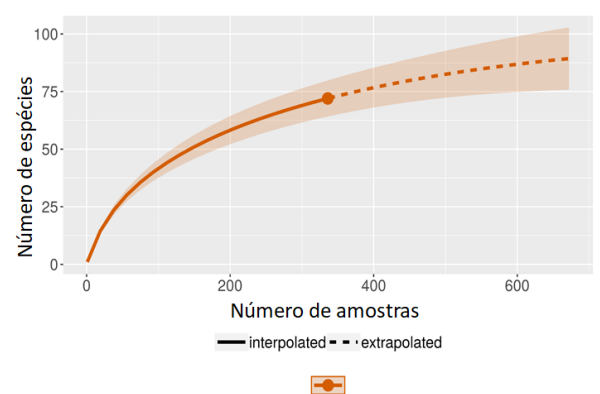
SARDINHA

PITFALL

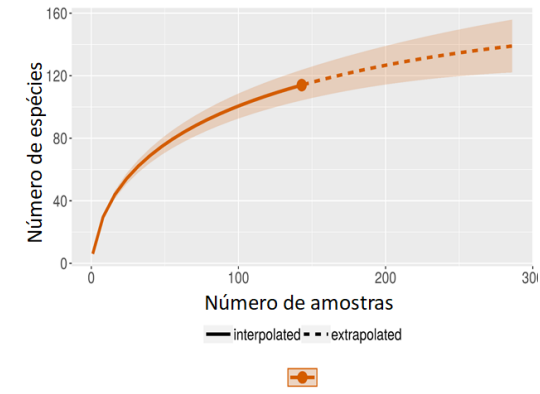
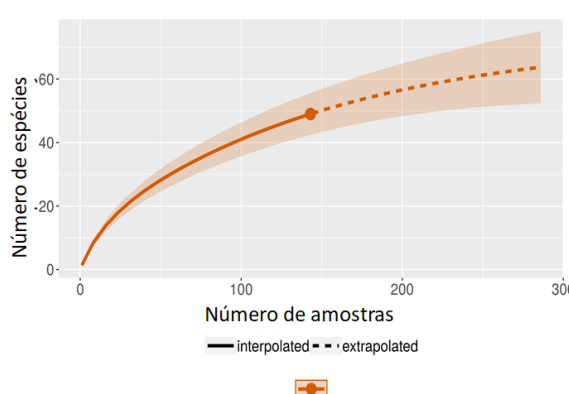
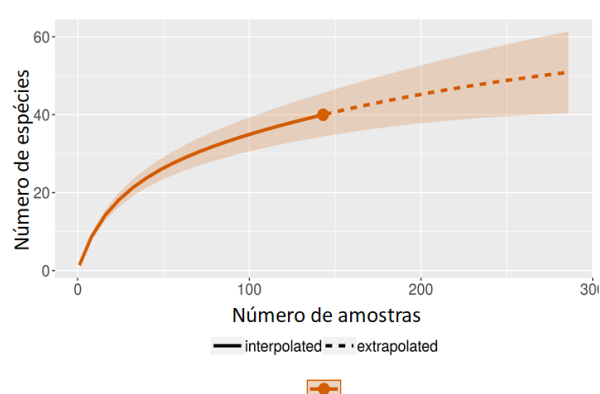
1A - REBIO COMBOIOS



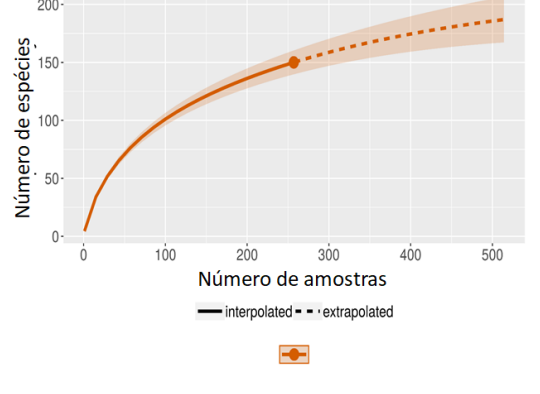
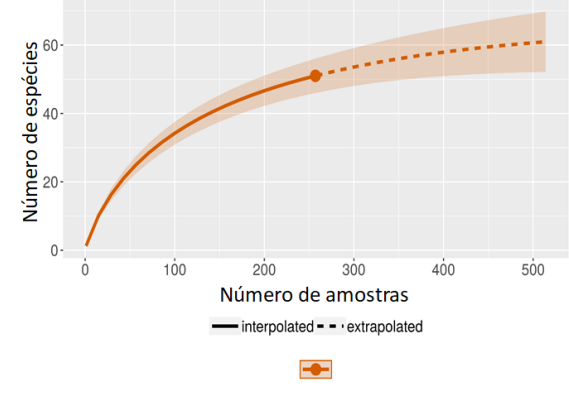
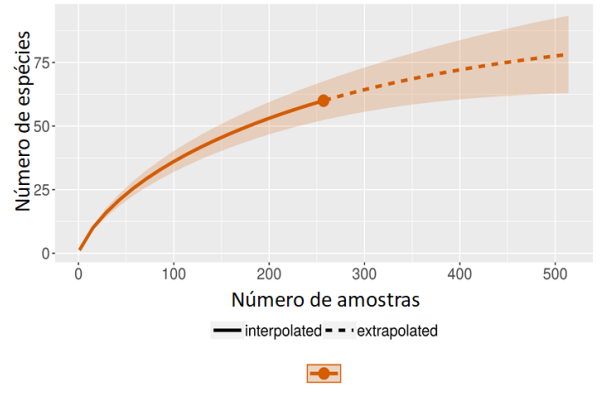
1B - LINHARES



2 – SETE SALÕES



3 - PERD



4 - MARIANA

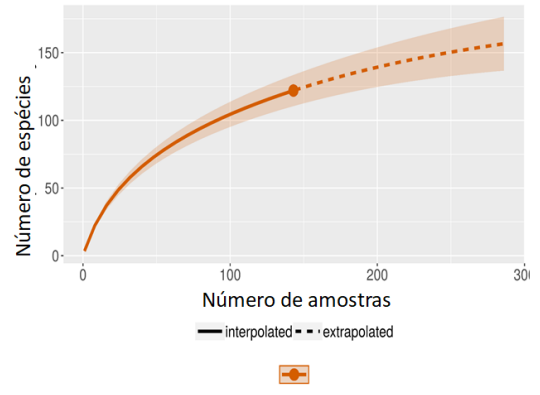
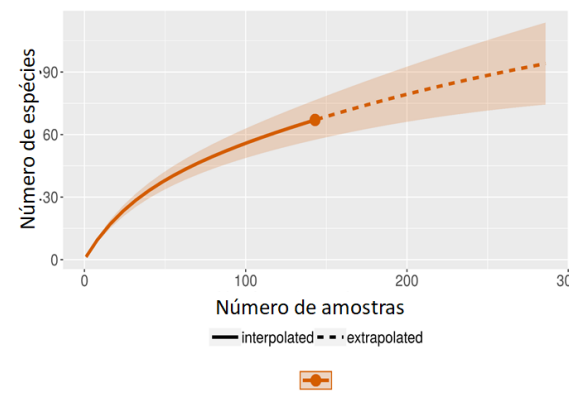
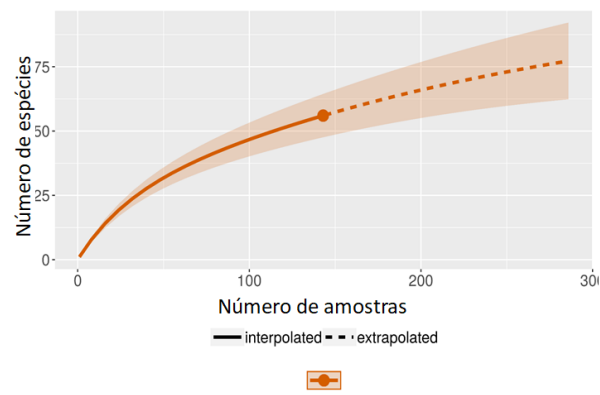


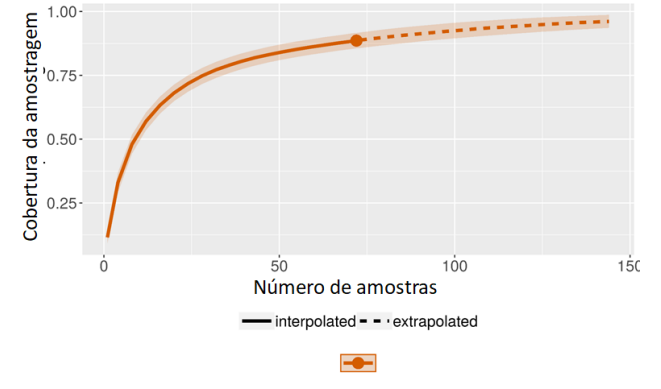
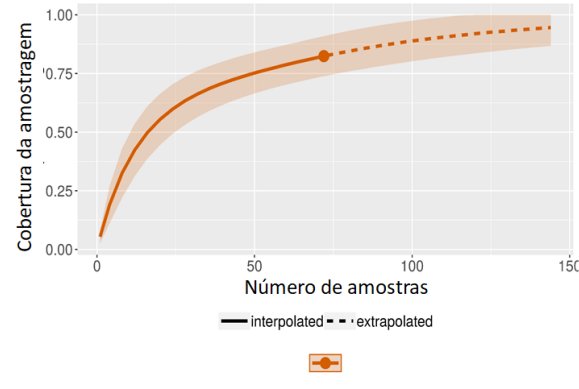
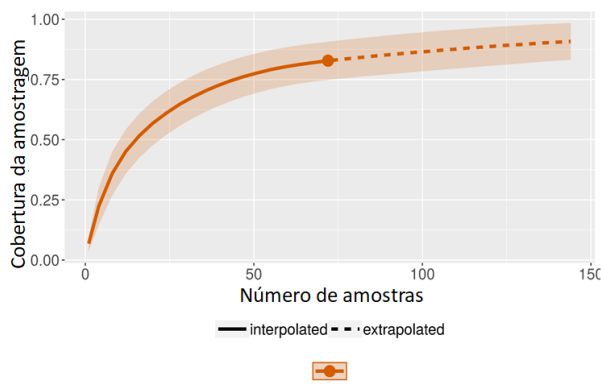
Figura 31. Curvas de extrapolação de espécies de Formicidae nos Blocos Amostrais (1a -4) em função do número de amostras em iscas de mel, sardinha e *pitfalls* coletadas durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A linha pontilhada representa a extrapolação até o dobro do número de amostras coletadas e os intervalos de confiança são de 95%.

MEL

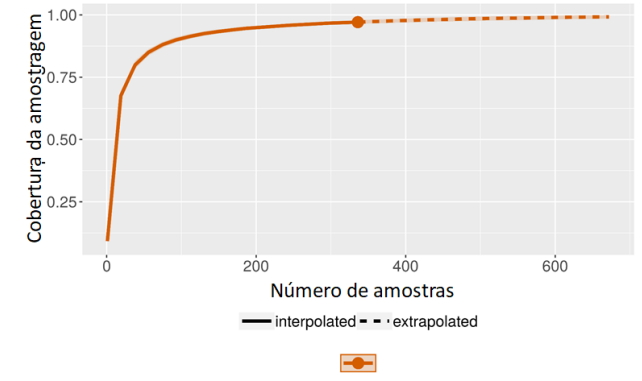
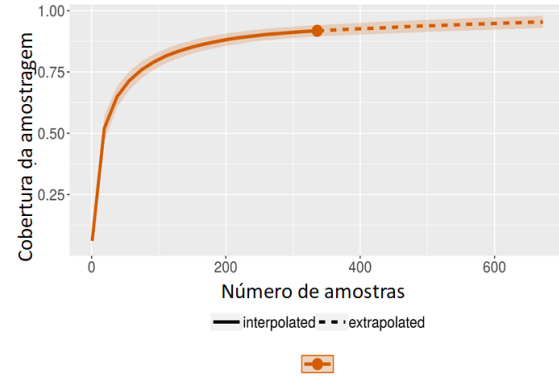
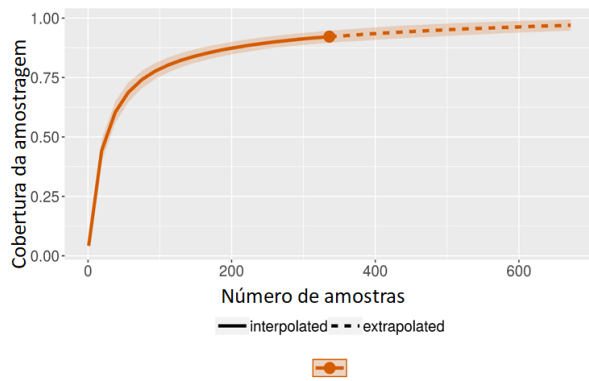
SARDINHA

PITFALL

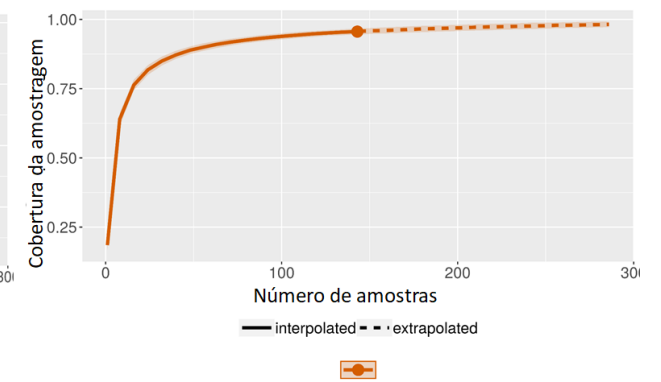
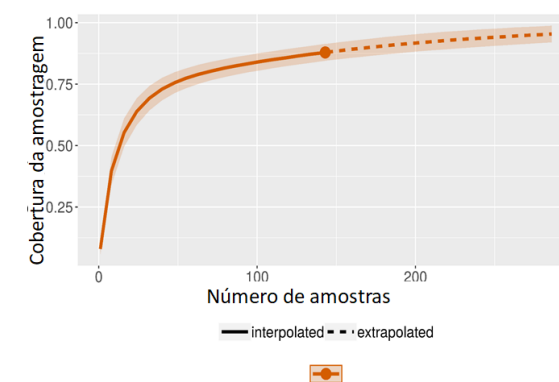
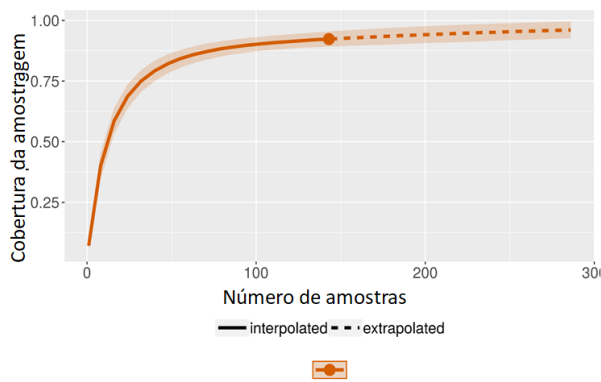
1A - REBIO COMBOIOS



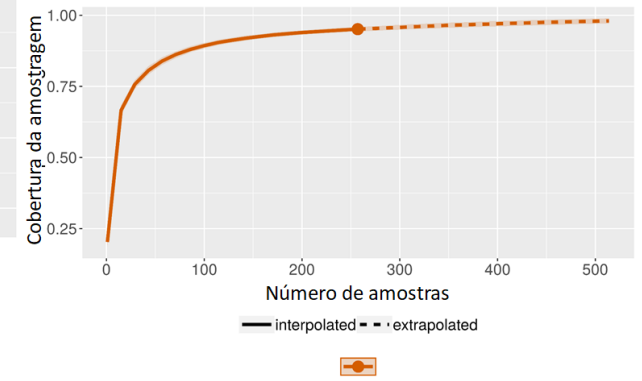
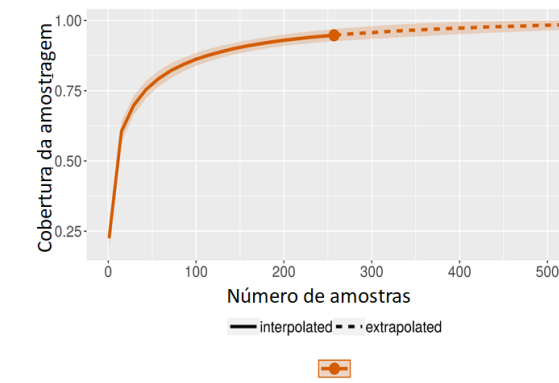
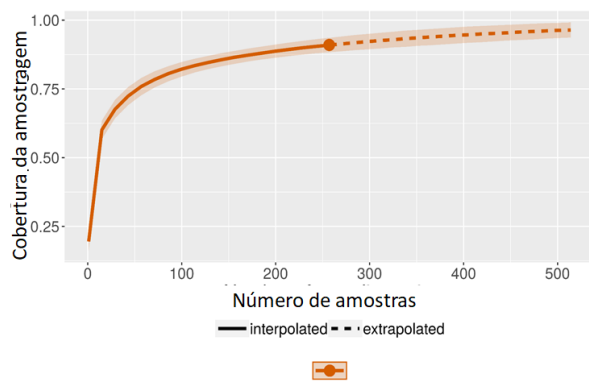
1B - LINHARES



2 – SETE SALÕES



3 - PERD



4 - MARIANA

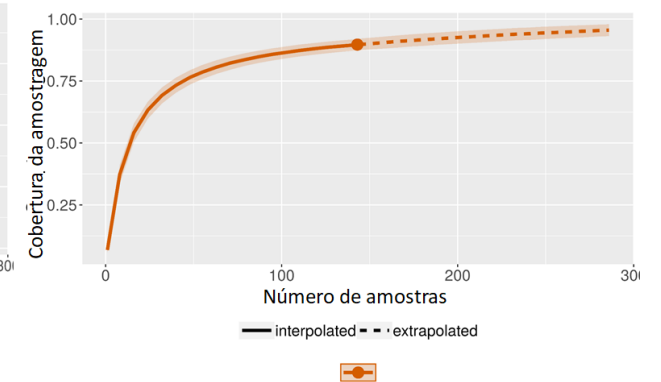
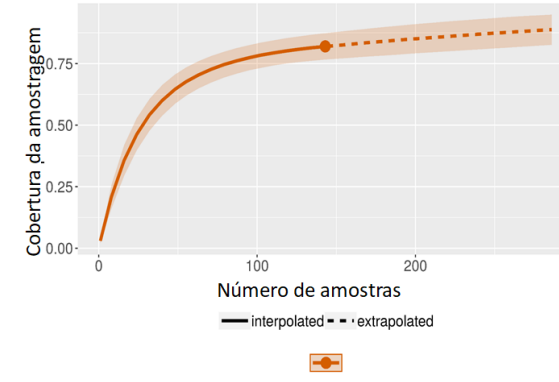
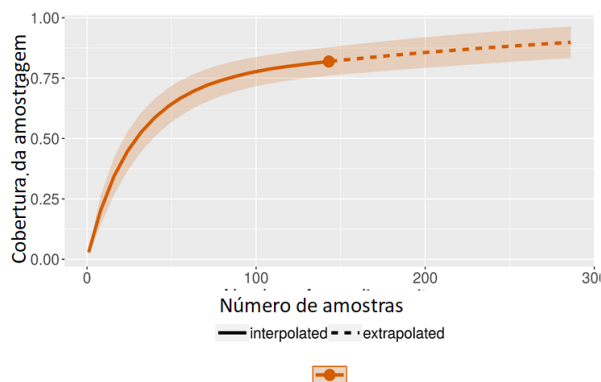


Figura 32. Curvas de cobertura da amostragem de Formicidae nos Blocos Amostrais em função do número de amostras em iscas de mel, sardinha e *pitfalls* durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A linha pontilhada representa a extrapolação até o dobro do número de amostras coletadas e os intervalos de confiança são de 95%.

3.2.3.4.2.1.2. Índice de diversidade

Os locais com maior heterogeneidade são BA1b, BA2 e BA4, nas regiões de Linhares, Sete Salões e Mariana, respectivamente, para iscas de mel e sardinha e BA1a, BA1b e BA4, nas regiões da REBIO Comboios, Linhares e Mariana, respectivamente, para as armadilhas *pitfall*. No geral, observando do montante do rio à foz, os Blocos Amostrais mostram uma diminuição da diversidade no BA3 em relação ao 4 depois um aumento no BA2 e BA1b, com outra queda no BA1a para as iscas e *pitfalls* (**Tabela 11**).

Tabela 11. Análise da heterogeneidade da comunidade de Formicidae, com base nos índices de diversidade invertido de *Simpson* (*Inv-Simpson*) em cada BA, por método de amostragem, do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Técnica amostragem	<i>Inv-Simpson</i>
1a	Isca mel	15,850
1b	Isca mel	22,813
2	Isca mel	17,473
3	Isca mel	6,070
4	Isca mel	29,794
1a	Isca sardinha	13,898
1b	Isca sardinha	17,619
2	Isca sardinha	15,404
3	Isca sardinha	5,490
4	Isca sardinha	35,415
1a	<i>pitfall</i>	36,909
1b	<i>pitfall</i>	38,373
2	<i>pitfall</i>	31,713
3	<i>pitfall</i>	21,455
4	<i>pitfall</i>	46,282

3.2.3.4.2.2. Resultados – Análises padronizadas

3.2.3.4.2.2.1. GLM

Para as amostras de formigas das *Parcelas Terrestres* usando iscas apenas no BA2 e BA4 que a distância do rio Doce esteve significativamente relacionada a riqueza de espécies de formigas (**Tabela 12**), em ambas as estações para o primeiro BA e apenas na estação seca para o BA4 (**Figura 33D, E e H**). Nos três casos a relação foi positiva, isto é, aumentando a riqueza de espécies com o distanciamento do rio.

Tabela 12. Modelos Lineares Generalizados gerados para as amostras de formigas coletadas nas *Parcelas Terrestres* e *Parcelas Ripárias* nos Blocos Amostrais (BA) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Modelos gerados a partir da riqueza de espécies por BA em função da distância para o leito do rio Doce. Valores em vermelho: relação significativa.

Bloco Amostral / Estação do ano	Estimativa	Erro padrão	Graus de liberdade	z	p
<i>Iscas - Parcelas Terrestres</i>					
Null deviance: 121,787; Residual deviance: 98,618; AIC: 555,36; Goodness of fit - p = 0,01014; PseudoR2 = 0,190245328; Overdispersion = 0,831949					
Intercepto	1,89803	0,05985	113	31,711	2E-16
BA1a – Chuva	0,03531	0,02904	113	1,216	0,224078
BA1a – Seca	0,02694	0,03512	113	0,767	0,443034
BA1b – Chuva	0,05797	0,04655	113	1,245	0,212962
BA1b – Seca	0,05941	0,04332	113	1,371	0,170292
BA2 – Chuva	0,10033	0,04015	113	2,499	0,012462
BA2 – Seca	0,13535	0,04557	113	2,97	0,002978
BA3 – Chuva	0,00171	0,0473	113	0,036	0,971162
BA3 – Seca	-0,02999	0,04887	113	-0,614	0,53949
BA4 – Chuva	0,05145	0,06463	113	0,796	0,425951
BA4 – Seca	0,16485	0,04563	113	3,613	0,000303
<i>Iscas - Parcelas Ripárias</i>					
Null deviance: 71,486; Residual deviance: 45,126; AIC: 258,81 Goodness of fit - p = 0,003286; PseudoR2 = 0,36873775; Overdispersion = 0,8843423					
Intercepto	-0,12769	0,09368	48	-1,363	0,17287
BA1a – Chuva	-0,02412	0,07146	48	-0,338	0,73572
BA1a – Seca	0,09639	0,08625	48	1,118	0,26373
BA1b – Chuva	0,07237	0,08052	48	0,899	0,36873
BA1b – Seca	0,04434	0,10419	48	0,426	0,67042
BA2 – Chuva	0,21773	0,08187	48	2,659	0,00783
BA2 – Seca	-0,03722	0,06091	48	-0,611	0,54115
BA3 – Chuva	-0,14487	0,07295	48	-1,986	0,04703
BA3 – Seca	0,16602	0,05804	48	2,860	0,00423
BA4 – Chuva	0,06831	0,07874	48	0,867	0,38568
BA4 – Seca	-0,12769	0,09368	48	-1,363	0,17287
<i>pitfalls - Parcelas Terrestres</i>					
Null deviance: 358,19; Residual deviance: 240,82; AIC: 797,29 Goodness of fit - p < 0,0001; PseudoR2 = 0,32767294; Overdispersion = 2,038053					
Intercepto	2,6041605	0,0411499	117	63,285	2E-16
BA1a – Chuva	0,1089326	0,0168365	117	6,47	9,8E-11
BA1a – Seca	-0,0008252	0,0223977	117	-0,037	0,9706
BA1b – Chuva	0,1748221	0,0260726	117	6,705	2,01E-11
BA1b – Seca	-0,0212323	0,0330327	117	-0,643	0,5204
BA2 – Chuva	0,0622215	0,0300329	117	2,072	0,0383
BA2 – Seca	0,1282147	0,0265528	117	4,829	1,3745E-06
BA3 – Chuva	0,0037594	0,0330174	117	0,114	0,9093
BA3 – Seca	0,1575154	0,0246358	117	6,394	1,619E-10
BA4 – Chuva	0,0719471	0,0438678	117	1,64	0,101
BA4 – Seca	-0,0359747	0,0425361	117	-0,846	0,3977
<i>pitfalls - Parcelas Ripárias</i>					
Null deviance: 147,31; Residual deviance: 123,38; AIC: 366,86 Goodness of fit - p < 0,001; PseudoR2 = 0,1624663617; Overdispersion = 2,581825					

Bloco Amostral / Estação do ano	Estimativa	Erro padrão	Graus de liberdade	z	p
Intercepto	284,300	0,05528	47	51,430	2E-17
BA1a – Chuva	-0,03775	0,05051	47	-0,747	0,4549
BA1a – Seca	-0,06627	0,05440	47	-1,218	0,2231
BA1b – Chuva	0,11333	0,05780	47	1,961	0,0499
BA1b – Seca	-0,08145	0,06509	47	-1,251	0,2108
BA2 – Chuva	0,01586	0,07409	47	0,214	0,8305
BA2 – Seca	0,11215	0,06478	47	1,731	0,0834
BA3 – Chuva	-0,10283	0,04653	47	-2,210	0,0271
BA3 – Seca	0,07566	0,03469	47	2,181	0,0292
BA4 – Chuva	0,01855	0,04735	47	0,392	0,6952
BA4 – Seca	0,03212	0,05642	47	0,569	0,5691

Para as amostras de *Parcelas Ripárias*, BA2 durante a estação chuvosa e BA3 em ambas as estações também foram significativamente relacionadas a distância do rio Doce, negativa apenas para a estação de chuvas no BA3. Para as amostras de formigas das *Parcelas Terrestres* obtidas por *pitfalls* a riqueza de espécies de formigas foi significativamente predita pela distância do rio Doce durante a estação chuvosa nos BA1a, BA1b, e BA2 e durante a estação seca nos BA2 e BA3 (**Tabela 12; Figura 33**). Em todos os casos a relação foi positiva entre as variáveis. Isto é, independentemente do método usado a riqueza de formigas aumentou à medida que a distância do rio Doce aumentou, e isto ocorreu em todos os BA, embora não simultaneamente.

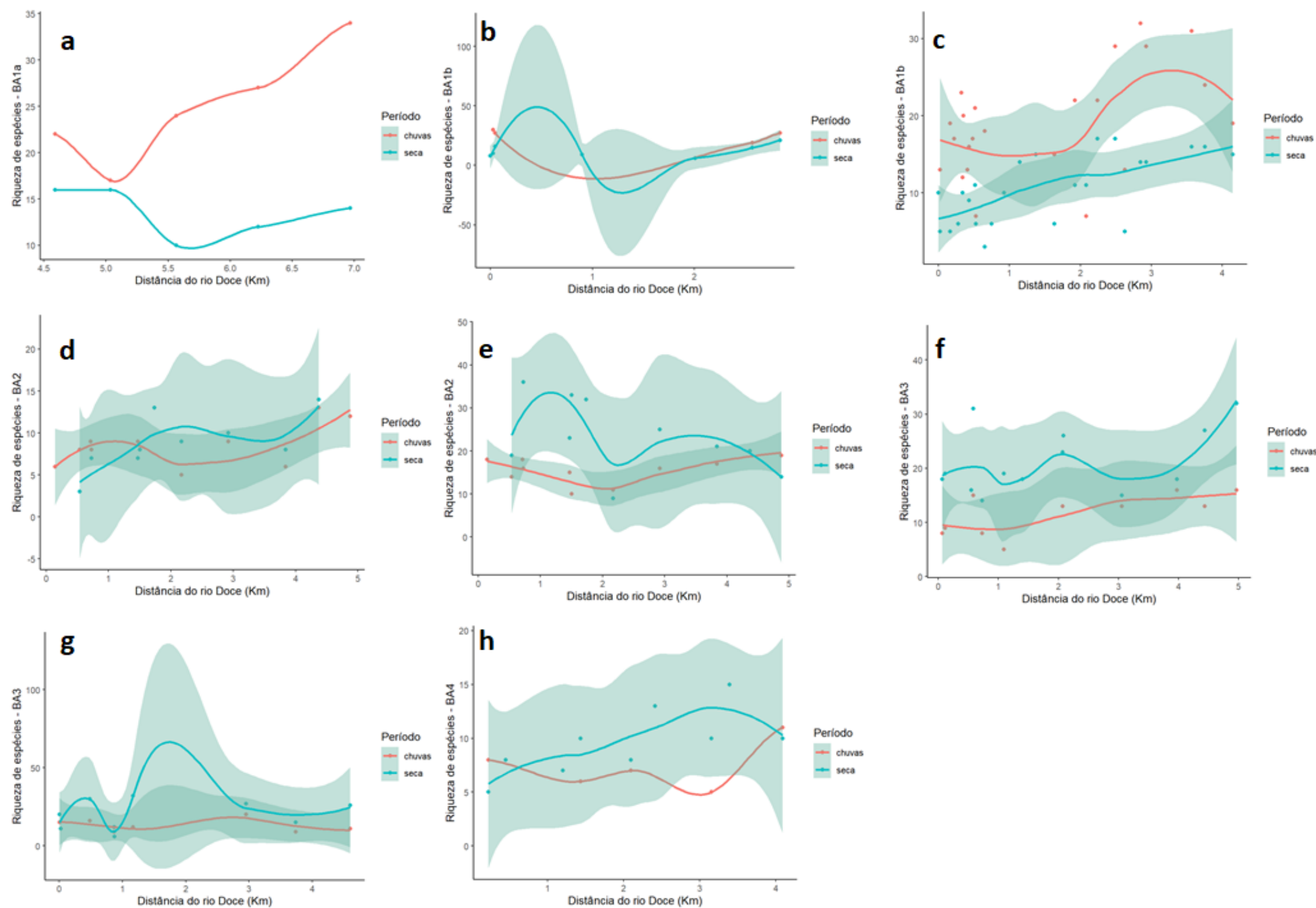


Figura 33. Relações entre riqueza de espécies de formigas em iscas e *pitfalls* e distância do rio Doce nas duas abordagens do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. *Parcelas Terrestres:* A, B, D, F, H; *Parcelas Ripárias:* C, E, G.

3.2.3.4.2.2.2. NMDS

Para a Abordagem 1 (*Parcelas Terrestres*) as variáveis não se correlacionaram com a mudança na composição de espécies de formigas capturadas por iscas em nenhum BA. Para as formigas em iscas a amostra foi pequena por BA na Abordagem 2 (*Parcelas Ripárias - Área Afetada* adjacente à calha do rio Doce; **Tabela 13, Figura 34, Figura 35**). Foram importantes para a estrutura das comunidades de formigas entre estações as variáveis *distância da barragem*, uso antrópico e uso natural para o BA1b e *distância da barragem* e *da UC mais próxima* no BA3. Para as formigas em *pitfalls*, considerando a Abordagem 1 (*Parcelas Terrestres*), houve influência da *distância do rio Doce* na mudança da composição de formigas no BA1b (**Tabela 14, Figura 36**). Por outro lado, a *distância do município mais próximo* e a *distância da UC mais próxima* influenciaram a mudança na composição de formigas capturadas por *pitfalls* no BA3 (**Figura 36**). Para a Abordagem 2 (*Parcelas Ripárias*) houve influência da *distância da barragem*, da *distância da UC mais próxima* e da variável *uso degradado* no BA1b (**Tabela 14, Figura 37**).

Tabela 13. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Formicidae capturadas em armadilhas de iscas comestíveis por BA nas *Parcelas Terrestres* e *Ripárias* durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.

BA	Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p	NMDS1	NMDS2	R ²	p
		<i>Parcelas Terrestres</i>				<i>Parcelas Ripárias</i>			
BA1a	Município	0,181	-0,983	0,827	0,111	NA	NA	NA	NA
BA1a	Barragem	0,146	0,989	0,616	0,244	NA	NA	NA	NA
BA1a	Rio Doce	-0,154	-0,988	0,618	0,242	NA	NA	NA	NA
BA1a	UC	-0,129	0,992	0,853	0,067	NA	NA	NA	NA
BA1a	Antrópico	-0,034	0,999	0,493	0,397	NA	NA	NA	NA
BA1a	Aquático	0,106	0,994	0,519	0,389	NA	NA	NA	NA
BA1a	Degradado	0,552	0,834	0,280	0,667	NA	NA	NA	NA
BA1a	Natural	-0,012	-1,000	0,633	0,222	NA	NA	NA	NA
BA1b	Município	-0,895	-0,446	0,654	0,542	0,787	-0,618	0,172	0,521
BA1b	Barragem	-0,858	-0,514	0,435	0,750	0,427	-0,904	0,836	0,007
BA1b	Rio Doce	-0,052	0,999	0,972	0,333	0,001	1,000	0,615	0,061
BA1b	UC	-0,298	0,955	0,326	0,958	-0,043	0,999	0,363	0,202
BA1b	Antrópico	0,959	-0,283	0,473	0,708	-0,511	0,860	0,602	0,043
BA1b	Aquático	-0,399	0,917	0,908	0,333	-0,051	0,999	0,560	0,054
BA1b	Degradado	0,990	-0,142	0,406	0,750	-0,753	0,658	0,307	0,288

BA	Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p	NMDS1	NMDS2	R ²	p
		Parcelas Terrestres				Parcelas Ripárias			
BA1b	Natural	-0,990	-0,142	0,423	0,750	0,442	-0,897	0,669	0,021
BA2	Município	NA	NA	NA	NA	0,467	-0,884	1,000	1,000
BA2	Barragem	NA	NA	NA	NA	-0,467	0,884	1,000	1,000
BA2	Rio Doce	NA	NA	NA	NA	-0,467	0,884	1,000	1,000
BA2	UC	NA	NA	NA	NA	0,467	-0,884	1,000	1,000
BA2	Antrópico	NA	NA	NA	NA	-0,467	0,884	1,000	1,000
BA2	Aquático	NA	NA	NA	NA	-0,467	0,884	1,000	1,000
BA2	Degradado	NA	NA	NA	NA	0,467	-0,884	1,000	1,000
BA2	Natural	NA	NA	NA	NA	0,467	-0,884	1,000	1,000
BA3	Município	0,168	0,986	0,482	0,533	0,572	0,820	0,249	0,108
BA3	Barragem	-0,073	-0,997	0,548	0,383	-0,138	0,990	0,392	0,025
BA3	Rio Doce	-0,001	1,000	0,382	0,617	0,135	0,991	0,049	0,705
BA3	UC	-0,217	-0,976	0,727	0,200	0,010	1,000	0,481	0,013
BA3	Antrópico	-0,046	-0,999	0,608	0,308	-0,318	0,948	0,159	0,291
BA3	Aquático	-0,113	-0,994	0,312	0,733	0,963	0,270	0,162	0,268
BA3	Degradado	0,202	-0,979	0,350	0,758	-0,204	-0,979	0,066	0,616
BA3	Natural	0,003	1,000	0,562	0,450	0,413	-0,911	0,096	0,481
BA4	Município	NA	NA	NA	NA	-0,655	-0,755	0,912	0,300
BA4	Barragem	NA	NA	NA	NA	-1,000	-0,012	0,930	0,067
BA4	Rio Doce	NA	NA	NA	NA	-0,318	0,948	0,183	0,967
BA4	UC	NA	NA	NA	NA	0,000	0,000	0,000	1,000
BA4	Antrópico	NA	NA	NA	NA	-0,975	-0,223	0,939	0,067
BA4	Aquático	NA	NA	NA	NA	-0,539	-0,843	0,017	0,950
BA4	Degradado	NA	NA	NA	NA	-0,475	-0,880	0,980	0,367
BA4	Natural	NA	NA	NA	NA	0,878	0,479	0,945	0,067

Tabela 14. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Formicidae capturadas em *pitfalls* por BA nas Parcelas Terrestres e Ripárias durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.

BA	Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p	NMDS1	NMDS2	R ²	p
		Parcelas Terrestres				Parcelas Ripárias			
BA1a	Município	0,097	0,995	0,062	0,811	0,964	-0,266	0,385	0,146
BA1a	Barragem	0,067	0,998	0,038	0,871	0,999	0,042	0,652	0,026
BA1a	Rio Doce	-0,120	-0,993	0,033	0,873	-0,583	-0,812	0,112	0,585
BA1a	UC	-0,088	-0,996	0,087	0,727	-0,646	-0,763	0,546	0,030
BA1a	Antrópico	-0,106	-0,994	0,023	0,905	-0,997	0,071	0,406	0,131
BA1a	Aquático	0,079	0,997	0,225	0,427	-0,836	0,549	0,031	0,868

BA	Variável	NMDS1	NMDS2	R ²	p	NMDS1	NMDS2	R ²	p
		Parcelas Terrestres				Parcelas Ripárias			
BA1a	Degradado	0,061	0,998	0,251	0,394	-0,819	-0,574	0,736	0,009
BA1a	Natural	0,020	-1,000	0,007	0,957	0,998	0,057	0,396	0,137
BA1b	Município	0,535	0,845	0,083	0,124	NA	NA	NA	NA
BA1b	Barragem	0,783	-0,621	0,046	0,347	NA	NA	NA	NA
BA1b	Rio Doce	0,484	-0,875	0,149	0,022	NA	NA	NA	NA
BA1b	UC	-0,636	0,772	0,002	0,954	NA	NA	NA	NA
BA1b	Antrópico	-0,572	0,820	0,054	0,294	NA	NA	NA	NA
BA1b	Aquático	0,276	0,961	0,075	0,142	NA	NA	NA	NA
BA1b	Degradado	-0,978	-0,209	0,086	0,125	NA	NA	NA	NA
BA1b	Natural	0,466	-0,885	0,067	0,196	NA	NA	NA	NA
BA2	Município	-0,455	-0,890	0,215	0,116	-0,211	0,977	0,483	0,356
BA2	Barragem	0,465	0,885	0,055	0,597	0,211	-0,977	0,488	0,356
BA2	Rio Doce	0,744	0,668	0,171	0,171	0,211	-0,977	0,229	0,656
BA2	UC	-0,947	-0,323	0,086	0,414	-0,211	0,977	0,501	0,267
BA2	Antrópico	0,158	0,987	0,009	0,928	0,211	-0,977	0,489	0,356
BA2	Aquático	-0,617	0,787	0,018	0,839	0,211	-0,977	0,308	0,567
BA2	Degradado	0,724	-0,689	0,026	0,789	-0,211	0,977	0,349	0,500
BA2	Natural	-0,781	-0,625	0,038	0,695	-0,211	0,977	0,497	0,367
BA3	Município	0,155	0,988	0,324	0,029	NA	NA	NA	NA
BA3	Barragem	-0,356	-0,935	0,240	0,081	-0,344	-0,939	0,013	0,934
BA3	Rio Doce	0,190	0,982	0,047	0,638	0,042	0,999	0,084	0,530
BA3	UC	-0,209	-0,978	0,292	0,040	-0,536	0,844	0,001	1,000
BA3	Antrópico	-0,224	-0,975	0,236	0,082	-0,227	-0,974	0,038	0,762
BA3	Aquático	0,567	-0,824	0,200	0,120	-0,747	0,664	0,029	0,828
BA3	Degradado	0,010	-1,000	0,209	0,117	-0,143	-0,990	0,068	0,598
BA3	Natural	0,146	0,989	0,243	0,081	0,231	0,973	0,044	0,728
BA4	Município	-0,962	-0,274	0,007	0,969	0,344	-0,939	0,157	0,455
BA4	Barragem	-0,352	0,936	0,074	0,598	0,695	-0,719	0,041	0,825
BA4	Rio Doce	0,100	-0,995	0,005	0,962	0,489	-0,872	0,069	0,728
BA4	UC	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
BA4	Antrópico	-0,399	0,917	0,075	0,594	0,359	-0,933	0,122	0,523
BA4	Aquático	0,943	-0,334	0,009	0,953	-0,884	-0,468	0,056	0,796
BA4	Degradado	-0,987	-0,160	0,006	0,957	0,365	-0,931	0,127	0,546
BA4	Natural	0,487	-0,873	0,049	0,742	-0,354	0,935	0,141	0,477

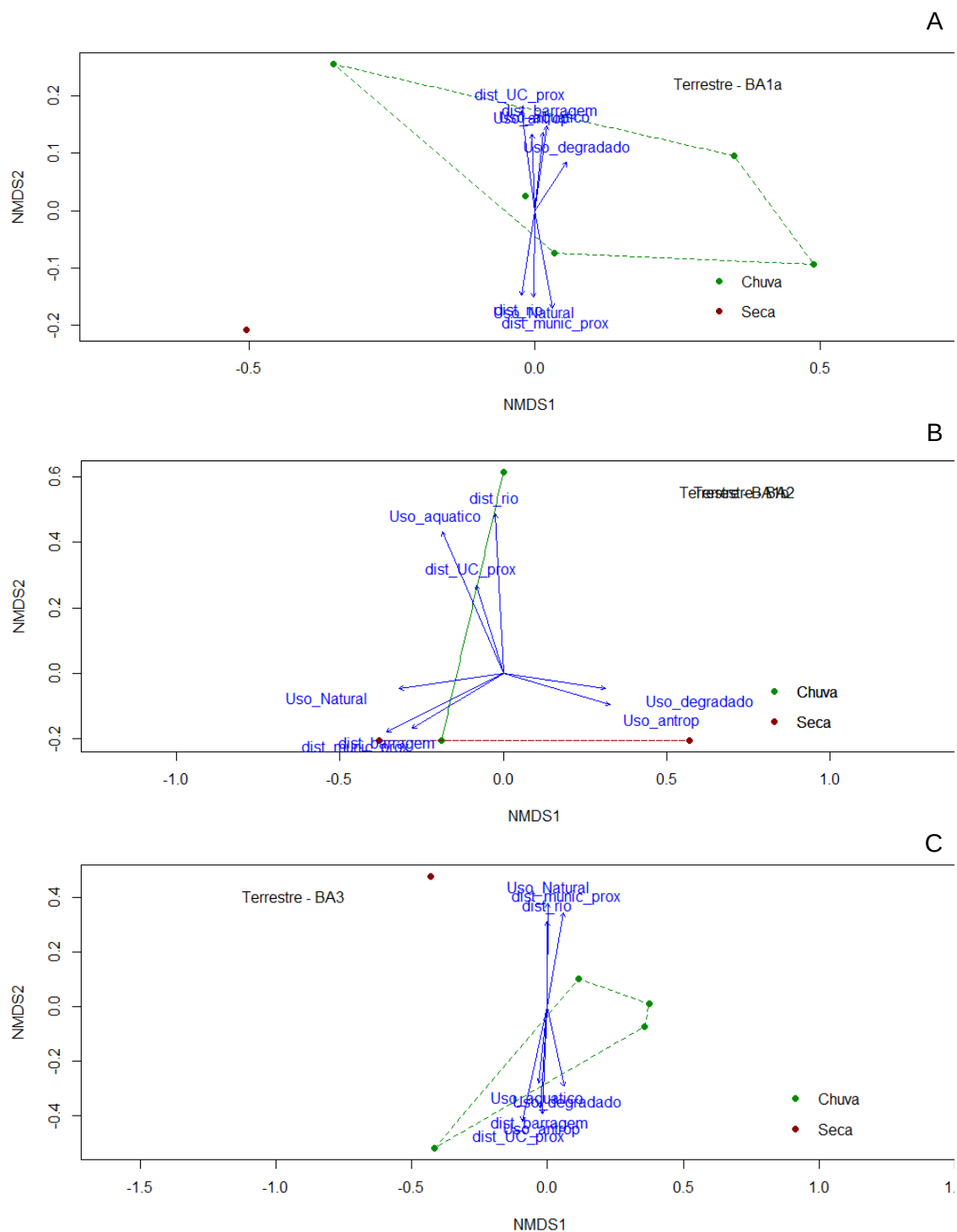


Figura 34. Relações entre composição de espécies de formigas em iscas e variáveis preditoras para *Parcelas Terrestres* do BA1b (A), BA2 (B) e BA3 (C) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

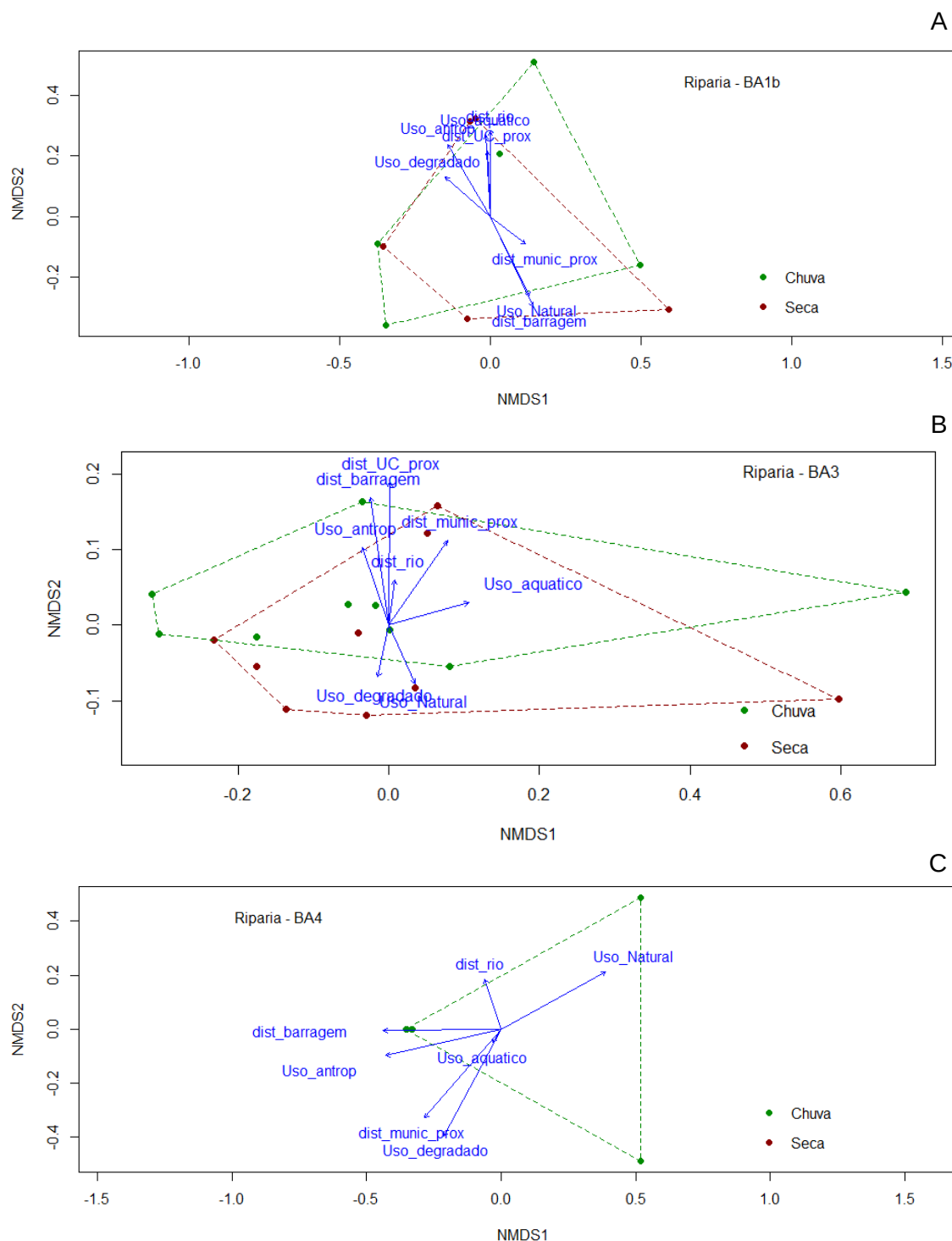


Figura 35. Relações entre composição de espécies de formigas em iscas e variáveis preditoras para as *Parcelas Ripárias* do BA1b (A), BA3 (B) e BA4 (C) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

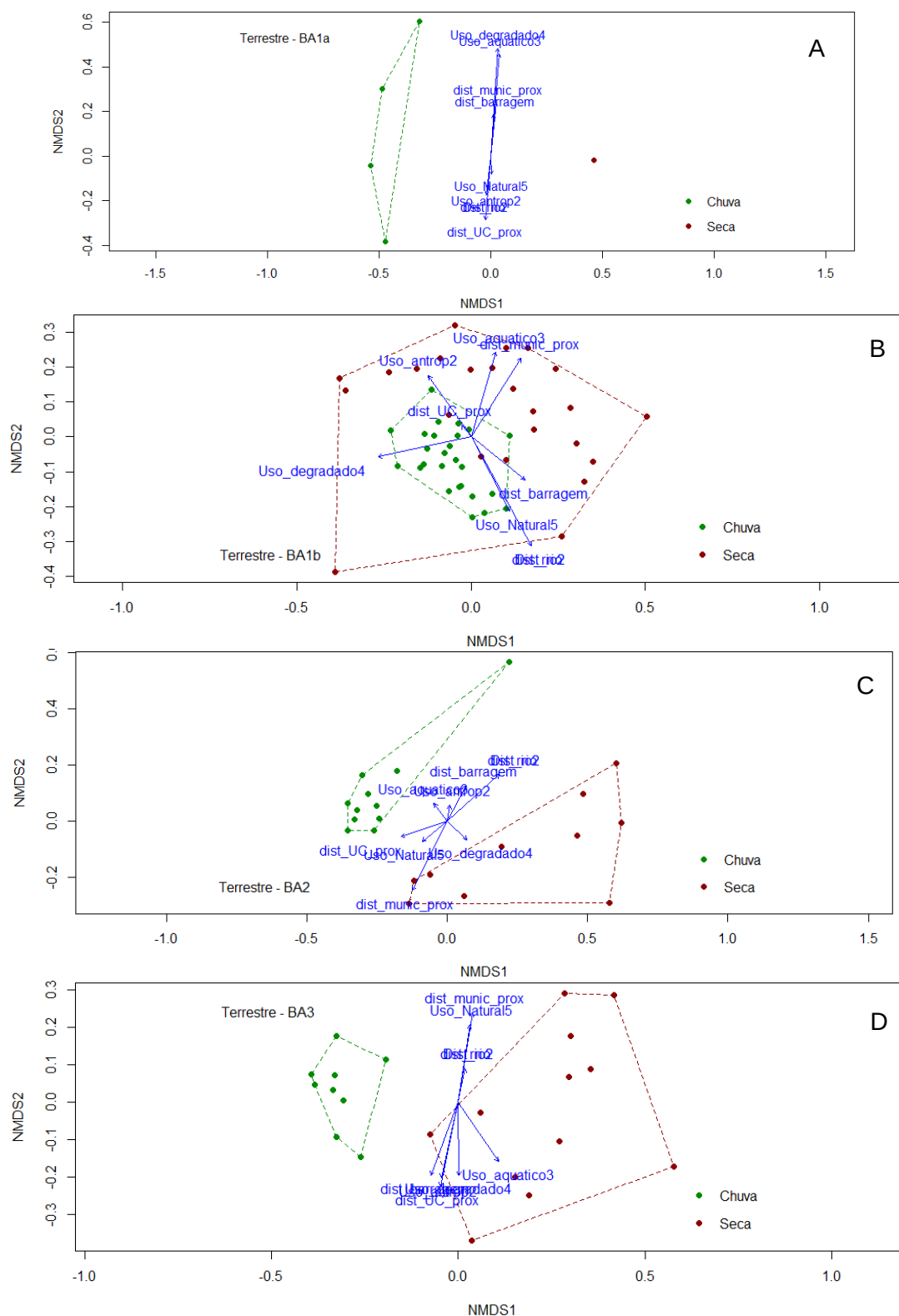


Figura 36. Relações entre composição de espécies de formigas em *pitfalls* e variáveis preditoras para as *Parcelas Terrestres* do BA1a (A), BA1b (B), BA2 (C) e BA3 (D) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

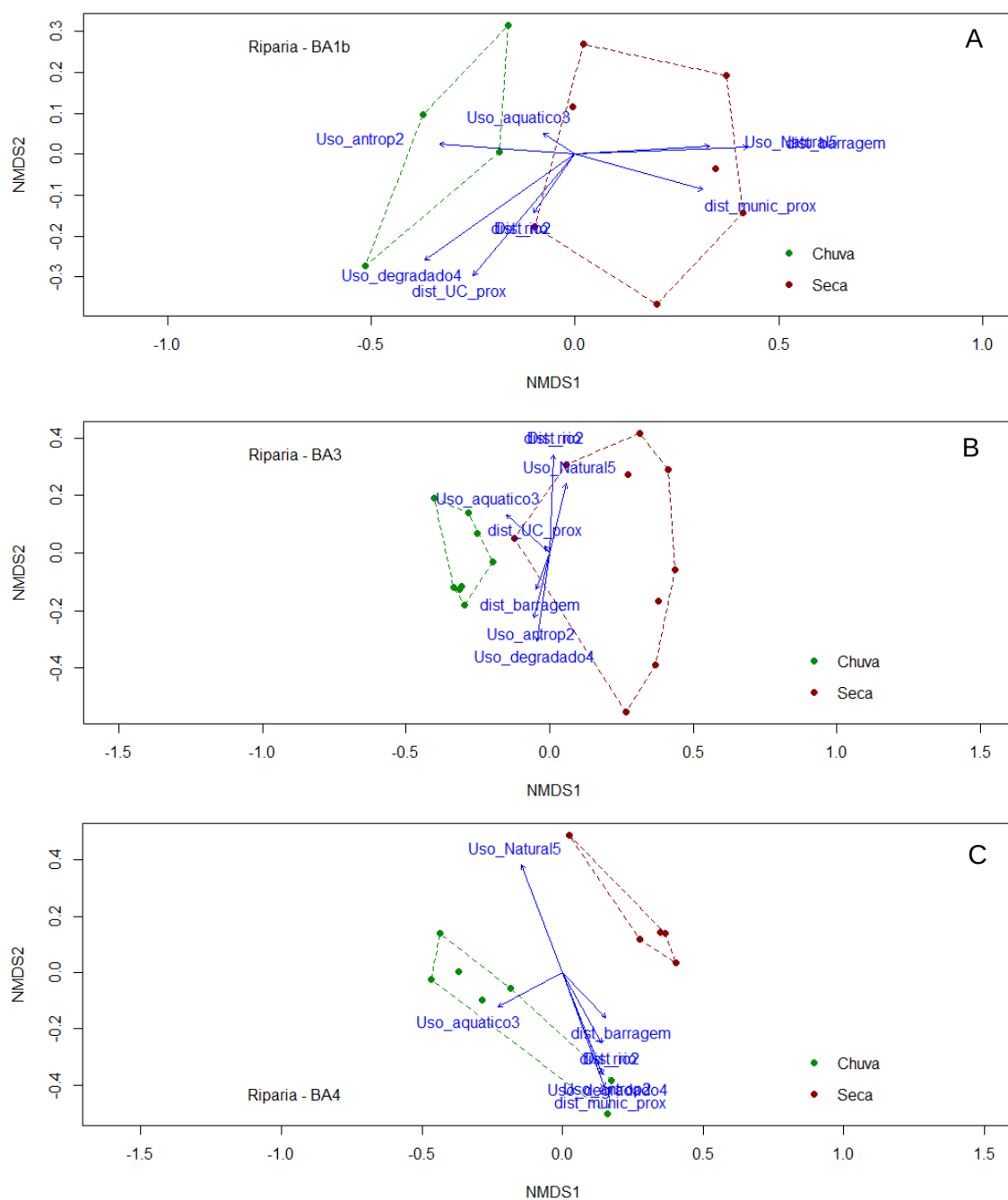


Figura 37. Relações entre composição de espécies de formigas em *pitfalls* e variáveis preditoras para as *Parcelas Ripárias* do BA1b (A), BA3 (B), BA4 (C) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.3.4.2.2.3. Análises específicas

3.2.3.4.2.2.3.1. Abordagem 1 – Riqueza de espécies

No BA1b houve correlação positiva entre a riqueza de formigas atraídas por mel e a densidade da floresta, correlação negativa entre a riqueza de formigas capturadas por *pitfalls* e a distância da barragem, que também estiveram positivamente relacionadas à distância do rio Doce, à densidade de sub-bosque e densidade de floresta (**Tabela 15**). No BA2 houve relação positiva entre a riqueza de formigas capturadas na armadilha de mel com a densidade de floresta. A riqueza de formigas capturadas em *pitfalls* foi negativamente relacionada à distância do rio Doce (**Tabela 15**). No BA3 houve relação negativa entre a riqueza de formigas em sardinha, mel e a distância do rio Doce, e também negativa entre riqueza de espécies capturadas no mel e a porcentagem de cobertura de área nativa, densidade de sub-bosque e da floresta. A riqueza de formigas capturadas na sardinha foi positivamente relacionada a heterogeneidade da paisagem e a riqueza capturada no mel com distância da barragem (**Tabela 15**). No BA4, a riqueza de espécies de formigas capturadas na sardinha se correlacionou positivamente com a distância do rio Doce, mas a riqueza registrada pelas *pitfalls* se correlacionou negativamente com a heterogeneidade da paisagem (**Tabela 15**).

3.2.3.4.2.2.3.2. Abordagem 2 – Riqueza de espécies

Em relação às *Parcelas Ripárias*, houve correlação negativa entre a riqueza de formigas capturadas no mel e porcentagem de cobertura de área nativa, e correlação positiva entre riqueza de formigas capturadas em *pitfalls* e distância da barragem (**Tabela 16**).

3.2.3.4.2.2.3.3. Abordagem 1 – Similaridade

No BA1a houve correlação positivas entre as espécies de formigas capturadas pelas armadilhas de mel, distância da barragem e heterogeneidade da paisagem, e negativamente em relação à porcentagem da área nativa. Correlações positivas também entre similaridade e riqueza de formigas capturadas em *pitfalls* (**Tabela 17**). No BA1b, essas espécies estiveram relacionadas negativamente com a distância da barragem e positivamente à heterogeneidade da paisagem e densidade de sub-bosque. As formigas capturadas em armadilhas com mel apresentam o mesmo padrão para sub-bosque e as capturadas na sardinha apresentam tendência contrária (**Tabela 17**). No BA2 houve correlação positiva entre similaridade de formigas capturadas na sardinha e a distância da barragem (**Tabela 17**).

Tabela 15. Riqueza de espécies de formigas (Variável resposta) em cada Bloco Amostral (BA) e em cada tipo de armadilha na Abordagem 1 do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestre nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Variáveis explicativas: Barragem (distância da barragem), Rio (distância do rio Doce), paisagem (Heterogeneidade da paisagem), % de área nativa, Sub-bosque (Densidade de sub-bosque) e Floresta (densidade de floresta). A cor verde indica uma correlação positiva, enquanto que a cor vermelha uma correlação negativa. N.S. = não significativo. (* = $p < 0,05$).

Abord.	Armadilha	BA	Estação	Resposta	Barragem	Rio	Paisagem	% de Área Nativa	Sub-bosque	Floresta
1	pitfall	1a	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	1a	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	1b	Seca	Riqueza	F = 7,135*	F = 12,171*	N.S.	N.S.	F = 14,631**	N.S.
1	pitfall	1b	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	F = 7,755*	F = 6,502*
1	pitfall	2	Seca	Riqueza	N.S.	F = 9,892*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	2	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	3	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	3	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	4	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	F = 11,386**	N.S.	D.I.	D.I.
1	pitfall	4	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	Sardinha	1a	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	1a	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	1b	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	1b	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	2	Seca	Riqueza	F = 6,460*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	2	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	3	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	3	Chuva	Riqueza	N.S.	F = 7,281*	F = 4,551*	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	4	Seca	Riqueza	N.S.	F = 5,852*	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	Sardinha	4	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	Mel	1a	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Mel	1a	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Mel	1b	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Mel	1b	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	F = 6,575*
1	Mel	2	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Abord.	Armadilha	BA	Estação	Resposta	Barragem	Rio	Paisagem	% de Área Nativa	Sub-bosque	Floresta
1	Mel	2	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 18,889^*$
1	Mel	3	Seca	Riqueza	$F = 5,115^*$	$F = 5,941^*$	N.S.	$F = 7,326^{**}$	N.S.	N.S.
1	Mel	3	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 6,907^*$	$F = 5,313^*$
1	Mel	4	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	Mel	4	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.

Tabela 16. Riqueza de espécies formigas (Variável resposta) em cada Bloco Amostral e em cada técnica de amostragem na Abordagem 2 do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestre nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Variáveis explicativas: Barragem (distância da barragem), Rio (distância do rio Doce), Paisagem (Heterogeneidade da paisagem), % de Área Nativa, Sub-bosque (Densidade de sub-bosque) e Floresta (densidade de floresta). A cor verde indica uma correlação positiva, enquanto que a cor vermelha uma correlação negativa. N.S. = não significativo. (* = $p < 0,05$).

Abord	Armadilha	Estação	Resposta	Barragem	Rio	Paisagem	% de Área Nativa	Sub-bosque	Floresta	Bloco Amostral
2	<i>pitfall</i>	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 5,264^*$; (1a,1b,3,4; 2)
2	<i>pitfall</i>	Chuva	Riqueza	$F = 9,510^{**}$	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
2	Sardinha	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
2	Sardinha	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
2	Mel	Seca	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 6,225^*$	N.S.	N.S.	N.S.
2	Mel	Chuva	Riqueza	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Tabela 17. Similaridade de espécies de formigas em cada Bloco Amostral (BA) e em cada técnica de amostragem na Abordagem 1 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Variáveis explicativas: Barragem (distância da barragem), Rio (distância do rio Doce), Paisagem (Heterogeneidade da paisagem), % de Área Nativa, Sub-bosque (Densidade de sub-bosque) e Floresta (densidade de floresta). A cor verde indica uma correlação positiva, enquanto que a cor vermelha uma correlação negativa. N.S. = não significativo. (* = $p < 0,05$).

Abord	Armadilha	BA	Estação	Resposta/Explicativa	Barragem	Rio	Paisagem	% de Área Nativa	Sub-bosque	Floresta
1	pitfall	1a	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 20,051^*$	N.S.
1	pitfall	1a	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	1b	Seca	Similaridade	$F = 4,436^*$	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	1b	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	$F = 5,439^*$	N.S.	$F = 13,564^{**}$	N.S.
1	pitfall	2	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	2	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	pitfall	3	Seca	Similaridade	$F = 18,747^{***}$	N.S.	$F = 9,986^{**}$	$F = 10,128^{**}$	N.S.	N.S.
1	pitfall	3	Chuva	Similaridade	$F = 15,157^{***}$	N.S.	$F = 6,219^*$	$F = 11,347^{**}$	N.S.	N.S.
1	pitfall	4	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	pitfall	4	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	Sardinha	1a	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	1a	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	1b	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	1b	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 5,804^*$	N.S.
1	Sardinha	2	Seca	Similaridade	$F = 5,215^*$	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	2	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	3	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	3	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	$F = 4,654^*$	N.S.	N.S.	N.S.
1	Sardinha	4	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	Sardinha	4	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	Mel	1a	Seca	Similaridade	$F = 81,69^{**}$	N.S.	$F = 64,777^*$	$F = 124,569^{**}$	N.S.	N.S.
1	Mel	1a	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Mel	1b	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Mel	1b	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 8,359^{**}$	N.S.
1	Mel	2	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Mel	2	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Abord	Armadilha	BA	Estação	Resposta/Explicativa	Barragem	Rio	Paisagem	% de Área Nativa	Sub-bosque	Floresta
1	Mel	3	Seca	Similaridade	N.S.	$F = 7,054^*$	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Mel	3	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
1	Mel	4	Seca	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.
1	Mel	4	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	D.I.	D.I.

Tabela 18. Similaridade de formigas em cada Bloco Amostral em cada técnica de amostragem na Abordagem 2 no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Variáveis explicativas: Barragem (distância da barragem), Rio (distância do rio Doce), Paisagem (Heterogeneidade da paisagem), % de Área Nativa, Sub-bosque (Densidade de Sub-bosque) e Floresta (densidade de floresta). A cor verde indica uma correlação positiva, enquanto que a cor vermelha uma correlação negativa. N.S. = não significativo. (* = $p < 0,05$).

Abord	Armadilha	Estação	Resposta	Barragem	Rio	Paisagem	% de Área Nativa	Sub-bosque	Floresta	Bloco Amostral
2	<i>pitfall</i>	Seca	Similaridade	$F = 17.655^{**}$	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 6,738^*$	N.S.	N.S.
2	<i>pitfall</i>	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 10,069^*$ (1a,1b,4; 2,3)
2	Sardinha	Seca	Similaridade	$F = 15,009^{**}$	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 4,876^*$	$F = 4,919^*$ (1a,1b,2,4; 3)
2	Sardinha	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 19,277^{***}$ (1a,2,4; 1b; 3)
2	Mel	Seca	Similaridade	$F = 20,970^{**}$	N.S.	N.S.	N.S.	$F = 9,176^*$	N.S.	$F = 6,258^*$ (1a,1b,2,4; 3)
2	Mel	Chuva	Similaridade	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

As relações foram positivas entre similaridade de formigas capturadas no mel e a distância do rio Doce, e negativas entre riqueza de formigas capturadas na sardinha, a distância da barragem e heterogeneidade da paisagem. No BA3, esta última variável também apresenta o mesmo padrão para formigas capturadas nos *pitfalls*, que também foram positivamente relacionadas a porcentagem de área nativa (**Tabela 17**).

3.2.3.4.2.3.4. Abordagem 2 – Similaridade

Avaliando somente *Parcelas Ripárias*, houve correlação negativa entre a similaridade de espécies de formigas, dos três grupos avaliados, e a distância da barragem. Também houve correlação positiva entre a similaridade e densidade de sub-bosque para formigas capturadas no mel e *pitfall*, e entre a similaridade de formigas capturadas na sardinha e a densidade da floresta (**Tabela 18**).

3.2.3.4.2.3.5. Grupos funcionais

Registramos um total de 13 grupos funcionais (GF) para 357 espécies identificadas em duas campanhas de amostragem na **Área de Estudo (APÊNDICE 27)**. Para apenas 9 espécies de formigas não foi possível atribuir uma das classes de GF. O menor número de GF foi registrado no BA4 e BA2 (N = 11), seguido do BA1, BA3 com 12 e 13 GF, respectivamente. Os grupos funcionais SO e AO foram os de maiores percentuais em todos os 4 Blocos Amostrais (**Gráfico 45**). Porém o BA4 foi a área com o maior percentual de espécies de formigas classificadas como SO (48%, **Gráfico 46, BA4**).

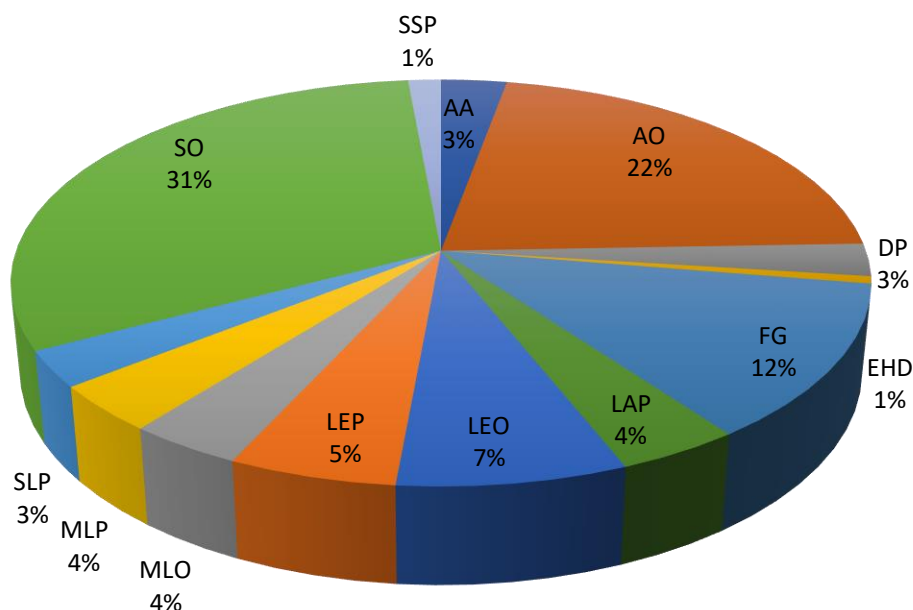


Gráfico 45. Grupos funcionais de formigas capturadas durante as duas campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Classes listadas em **3.2.3.3.2.2.3.**

3.2.3.4.2.2.3.6. Indval

Na Abordagem 1, são destacáveis as espécies *Camponotus* aff. *blandus aequinotus*, *Atta sexdens* e *Cyphomyrmex transversus* no BA2, *Neoponera verenae* no BA3 e *Camponotus* sp.5 no BA4 (**Tabela 19**). Para a Abordagem 2, são destacáveis *Ectatomma brunneum* e *Forelius* sp.1 no BA1a, *Camponotus* aff. *novogranadensis modestior*, *Pheidole vafra*, *Cephalotes pusillus* e *Atta sexdens* no BA2, *Pheidole* aff. *radoszkowskii* – sp.1 e *Neoponera verenae* no BA3 e *Dorymyrmex brunneus* no BA4 (**Tabela 19**).

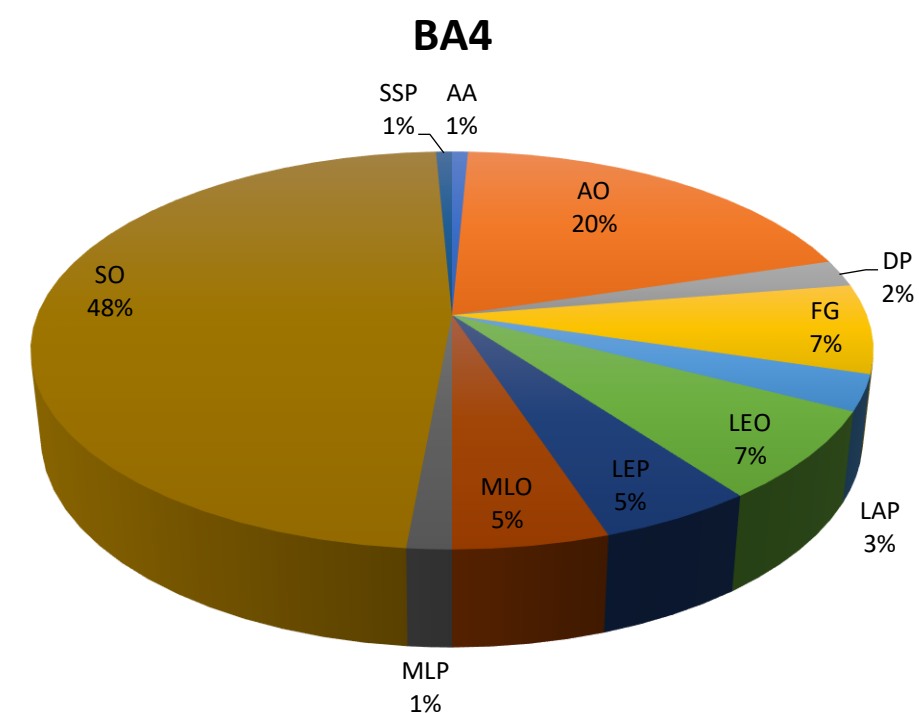
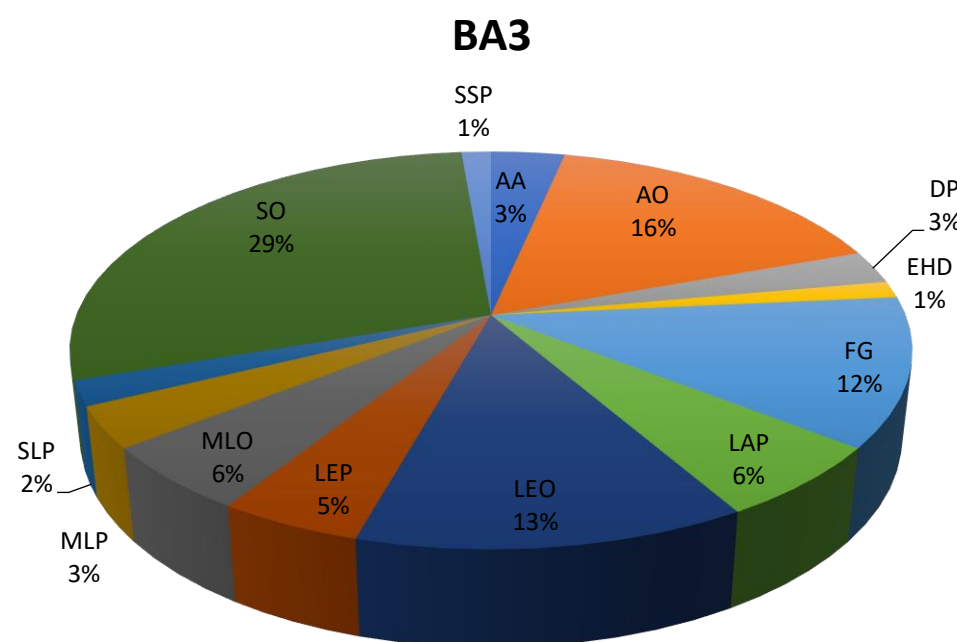
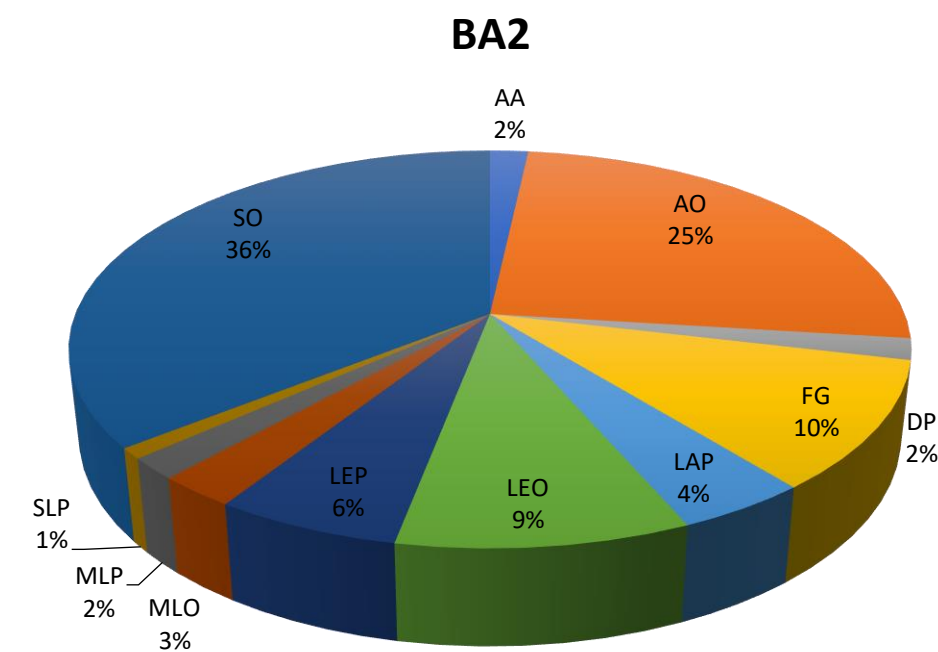
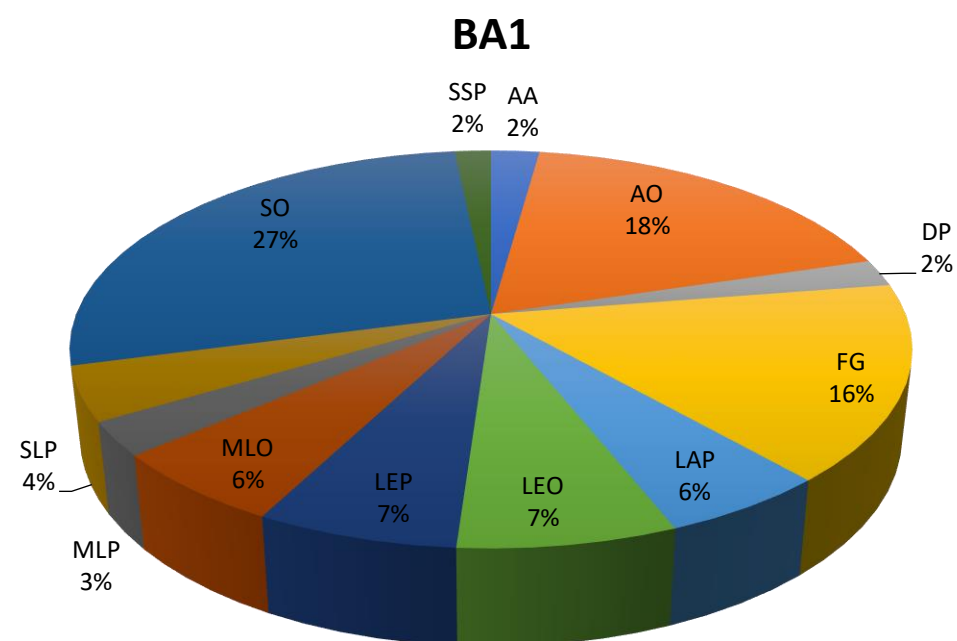


Gráfico 46. Grupos Funcionais de Formicidae por Bloco Amostral, **BA1**, **BA2**, **BA3**, **BA4** capturados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Tabela 19. Espécies de Formicidae indicadoras e seus valores de indicação por Abordagem (#A), Bloco Amostral (BA), método de captura e estação (seca ou chuvosa) do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. IV= índice do valor do indicador (*Indval*).

#A	Espécie	BA	Indval	p	Armadilha	Estação
1	<i>Camponotus</i> aff. <i>blandus aequinotus</i>	2	0,636	0,001	Mel	Chuva
1	<i>Camponotus</i> aff. <i>blandus aequinotus</i>	2	0,909	0,001	Sardinha	Chuva
1	<i>Solenopsis</i> sp.4	2	0,505	0,001	Sardinha	Chuva
1	<i>Camponotus</i> sp.3	2	0,790	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Camponotus</i> aff. <i>blandus aequinotus</i>	2	0,750	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Camponotus</i> sp.7	2	0,685	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Solenopsis</i> sp.4	2	0,682	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Cyphomyrmex transversus</i>	2	0,667	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Atta sexdens</i>	2	0,656	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Pheidole</i> sp.20	2	0,583	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Camponotus</i> sp.9	2	0,520	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Neoponera verenae</i>	3	0,707	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Sericomyrmex</i> sp.1	3	0,545	0,001	pitfall	Seca
1	<i>Forelius</i> sp.1	1a	0,500	0,002	pitfall	Chuva
1	<i>Camponotus</i> aff. <i>blandus aequinotus</i>	2	1,000	0,001	pitfall	Chuva
1	<i>Camponotus</i> sp.7	2	0,909	0,001	pitfall	Chuva
1	<i>Camponotus</i> sp.3	2	0,783	0,001	pitfall	Chuva
1	<i>Solenopsis</i> sp.4	2	0,617	0,001	pitfall	Chuva
1	<i>Neoponera verenae</i>	3	0,778	0,001	pitfall	Chuva
1	<i>Camponotus</i> sp.5	4	0,500	0,001	pitfall	Chuva
2	<i>Camponotus</i> aff. <i>novogranadensis modestior</i>	2	1,000	0,002	Mel	Seca
2	<i>Pheidole</i> aff. <i>radoszkowski</i> – sp.1	3	0,546	0,001	Mel	Seca
2	<i>Dorymyrmex brunneus</i>	4	0,750	0,009	Mel	Seca
2	<i>Solenopsis</i> sp.1	4	0,750	0,003	Mel	Seca
2	<i>Dorymyrmex</i> sp.4	1a	1,000	0,042	Mel	Chuva
2	<i>Forelius</i> sp.1	1a	1,000	0,041	Mel	Chuva
2	<i>Pheidole vafra</i>	2	0,632	0,020	Mel	Chuva
2	<i>Pheidole</i> aff. <i>radoszkowski</i> – sp.1	3	0,632	0,001	Mel	Chuva
2	<i>Cephalotes pusillus</i>	2	0,667	0,012	Sardinha	Seca
2	<i>Dorymyrmex brunneus</i>	4	0,750	0,004	Sardinha	Seca
2	<i>Pheidole</i> sp.1	4	0,750	0,009	Sardinha	Seca
2	<i>Solenopsis</i> sp.1	4	0,662	0,009	Sardinha	Seca
2	<i>Odontomachus</i> sp.3	1b	0,750	0,036	Sardinha	Chuva
2	<i>Pheidole</i> aff. <i>radoszkowski</i> – sp.2	2	1,000	0,001	Sardinha	Chuva
2	<i>Ectatomma permagnum</i>	3	0,557	0,007	Sardinha	Chuva
2	<i>Pheidole</i> aff. <i>radoszkowski</i> – sp.1	3	0,525	0,019	Sardinha	Chuva
2	<i>Solenopsis</i> sp.1	4	0,750	0,032	Sardinha	Chuva
2	<i>Camponotus</i> sp.3	2	1,000	0,002	pitfall	Seca
2	<i>Pheidole</i> aff. <i>radoszkowski</i> – sp.2	2	0,800	0,004	pitfall	Seca
2	<i>Solenopsis</i> sp.4	2	0,735	0,007	pitfall	Seca
2	<i>Camponotus</i> aff. <i>blandus aequinotus</i>	2	0,667	0,018	pitfall	Seca
2	<i>Camponotus</i> sp.7	2	0,667	0,006	pitfall	Seca
2	<i>Atta sexdens</i>	2	0,621	0,027	pitfall	Seca
2	<i>Acromyrmex</i> sp.3	2	0,571	0,022	pitfall	Seca
2	<i>Pheidole</i> sp.2	4	0,750	0,007	pitfall	Seca
2	<i>Brachymyrmex</i> sp.1	4	0,519	0,021	pitfall	Seca
2	<i>Dorymyrmex brunneus</i>	4	0,519	0,032	pitfall	Seca
2	<i>Pheidole</i> sp.1	4	0,519	0,026	pitfall	Seca
2	<i>Ectatomma brunneum</i>	1a	1,000	0,048	pitfall	Chuva
2	<i>Forelius</i> sp.1	1a	1,000	0,05	pitfall	Chuva
2	<i>Solenopsis</i> sp.21	1b	0,750	0,026	pitfall	Chuva

#A	Espécie	BA	Indval	p	Armadilha	Estação
2	<i>Wasmannia</i> sp.4	1b	0,750	0,035	<i>pitfall</i>	Chuva
2	<i>Camponotus</i> aff. <i>blandus aequinotus</i>	2	1,000	0,001	<i>pitfall</i>	Chuva
2	<i>Camponotus</i> sp.7	2	1,000	0,001	<i>pitfall</i>	Chuva
2	<i>Camponotus</i> sp.22	2	0,889	0,004	<i>pitfall</i>	Chuva
2	<i>Camponotus</i> aff. <i>novogranadensis modestior</i>	2	0,667	0,008	<i>pitfall</i>	Chuva
2	<i>Neoponera verenae</i>	3	0,625	0,021	<i>pitfall</i>	Chuva
2	<i>Solenopsis</i> sp.1	4	0,750	0,025	<i>pitfall</i>	Chuva

3.2.3.4.2.3. Metais Pesados

Não conhecemos estudos que determinem valores de referência de toxicidade para formigas. As concentrações médias de metal do maior para menor foram tipicamente Fe>Zn>Cu>Mn>Pb>As>Cr≥Hg, para o BA1a e BA1b. Para os demais Blocos, BA2, BA3 e BA4, as concentrações foram tipicamente Fe>Zn>Cu>Mn>Pb>Cr>As=Cd=Hg (**Quadro 43, Quadro 44**). Os valores máximos (*outliers*) encontrados de Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Cádmio (Cd) foram maiores que os valores de referência (OGUNDELE; ADIO; OLUDELE, 2015), para o BA1a (Zn = 25,8 mg*kg⁻¹, Cu = 11,7mg*kg⁻¹ e Cd = 0,09 mg*kg⁻¹), BA1b (Zn = 100,0 mg*kg⁻¹, Cu = 26,4 mg*kg⁻¹ e Cd = 0,47 mg*kg⁻¹), BA2 (Zn = 52,4 mg*kg⁻¹, Cu = 10,1 mg*kg⁻¹ e Cd = 0,05 mg*kg⁻¹) e BA3 (Zn = 83,9 mg*kg⁻¹, Cu = 16,8 mg*kg⁻¹ e Cd = 0,12 mg*kg⁻¹).

O BA4 apresentou valores máximos (*outliers*) superiores aos valores de referência para quatro metais: Zn (35,3 mg*kg⁻¹), Cu (23,8 mg*kg⁻¹), Pb (4,33 mg*kg⁻¹) e Cd (0,13 mg*kg⁻¹). Zinco e Cádmio foram os únicos metais com valores médios de concentração superiores ao permissivo em todos os BA estudados. Os metais Arsênio (As), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Mercúrio (Hg) não possuem valores de referência permissivo em outros organismos, como plantas, de acordo com a OMS - Organização Mundial da Saúde (OGUNDELE; ADIO; OLUDELE, 2015).

No BA1a os metais Cádmio, Chumbo, Cobre, Ferro e Manganês estão em maior concentração nos tecidos das formigas que foram capturadas mais próximo ao rio Doce, enquanto no BA3 houve a mesma tendência para os metais Arsênio e Ferro (correlações de *Spearman*; **Quadro 45**). No entanto, não encontramos correlações entre concentração de metais pesados e distância do rio Doce para BA1b, BA2 e BA4. Além disso, não observamos variação em relação a distância do rio Doce para os metais Cromo, Mercúrio e Zinco em nenhum dos BA.

Quadro 43. Resumo descritivo das análises de concentrações ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) de metais pesados nos tecidos de espécimes de Formicidae, analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Metal	Valor de referência $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Mín. $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Média	Mediana	Máx. $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
BA1a	Arsênio	-	0,05	0,12	0,05	0,33
	Cádmio	0,02	0,03	0,05	0,05	0,09
	Chumbo	2	0,05	0,20	0,20	0,44
	Cobre	10	2,32	6,40	6,61	11,70
	Cromo	1,3	0,05	0,10	0,05	0,29
	Ferro	-	0,05	20,53	10,50	76,40
	Manganês	-	1,05	2,31	2,08	7,19
	Mercúrio	-	0,03	0,05	0,05	0,05
	Zinco	0,60	12,80	18,83	18,30	25,80
BA1b	Arsênio	-	0,04	0,12	0,05	0,49
	Cádmio	0,02	0,03	0,08	0,05	0,47
	Chumbo	2	0,11	0,30	0,24	1,05
	Cobre	10	4,16	8,75	8,04	26,40
	Cromo	1,3	0,05	0,10	0,07	0,24
	Ferro	-	9,30	34,18	32,20	106,00
	Manganês	-	0,59	3,37	3,05	7,77
	Mercúrio	-	0,03	0,05	0,05	0,10
	Zinco	0,60	13,30	29,19	23,60	100,00
BA2	Arsênio	-	0,05	0,05	0,05	0,05
	Cádmio	0,02	0,04	0,05	0,05	0,05
	Chumbo	2	0,10	0,24	0,24	0,35
	Cobre	10	3,65	6,51	6,54	10,10
	Cromo	1,3	0,05	0,07	0,06	0,22
	Ferro	-	23,10	40,19	35,85	96,20
	Manganês	-	1,34	4,30	3,67	10,00
	Mercúrio	-	0,04	0,05	0,05	0,05
	Zinco	0,60	6,82	23,76	19,40	52,40
BA3	Arsênio	-	0,04	0,05	0,05	0,06
	Cádmio	0,02	0,04	0,05	0,05	0,12
	Chumbo	2	0,16	0,29	0,24	1,13
	Cobre	10	4,73	7,40	6,69	16,80
	Cromo	1,3	0,05	0,08	0,06	0,24
	Ferro	-	14,50	36,34	29,40	117,00
	Manganês	-	1,22	4,68	4,39	14,30
	Mercúrio	-	0,04	0,05	0,05	0,05
	Zinco	0,60	15,20	31,76	28,70	83,90
BA4	Arsênio	-	0,04	0,06	0,05	0,13
	Cádmio	0,02	0,04	0,06	0,05	0,13
	Chumbo	2	0,15	0,81	0,28	4,33
	Cobre	10	4,10	8,86	6,50	23,80
	Cromo	1,3	0,05	0,11	0,09	0,26
	Ferro	-	14,70	40,70	33,70	98,80
	Manganês	-	1,40	6,66	5,18	23,80
	Mercúrio	-	0,04	0,06	0,05	0,13
	Zinco	0,60	8,75	20,47	19,50	35,30

* Valores de referência: 1- (OGUNDELE; ADIO; OLUDELE, 2015).

Quadro 44. Concentrações de metais pesados ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) por amostra de tecidos de espécimes de Formicidae, analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Distância Rio Doce	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025856	BA1b	10T	1,15	0,05	0,27	0,24	10,00	0,06	30,50	2,73	0,05	43,10
8025857	BA1a	02T	4,59	0,05	0,05	0,45	11,70	0,06	17,30	2,56	0,05	20,00
8025865	BA1b	11T	0,16	0,05	0,09	0,20	6,74	0,05	30,30	4,17	0,05	25,40
8025868	BA3	17T	0,11	0,05	0,05	0,18	5,73	0,11	50,90	1,93	0,05	28,70
8025872	BA1b	07T	0,65	0,05	0,05	0,22	6,42	0,05	16,60	2,78	0,05	13,50
8025875	BA1b	06T	0,48	0,04	0,10	0,43	9,63	0,13	53,70	6,04	0,04	26,10
8025880	BA1b	05T	0,18	0,05	0,05	0,16	6,06	0,07	21,80	3,05	0,05	14,10
8025881	BA3	17T	0,06	0,05	0,05	0,26	7,52	0,05	34,20	2,80	0,05	25,80
8025882	BA1b	06T	0,22	0,05	0,05	0,23	7,01	0,05	13,60	4,93	0,05	19,00
8025883	BA3	20T	0,58	0,05	0,05	0,16	4,77	0,05	14,80	3,04	0,05	20,30
8025884	BA1b	05T	0,35	0,05	0,05	0,11	4,67	0,05	14,50	2,21	0,05	16,10
8025893	BA4	22T	3,30	0,05	0,05	4,33	4,10	0,05	14,70	4,56	0,05	8,75
8025894	BA1a	02T	5,04	0,05	0,05	0,26	7,68	0,05	13,80	7,19	0,05	17,80
8025898	BA1b	11T	0,52	0,05	0,05	0,38	9,48	0,10	37,40	7,07	0,05	22,70
8025906	BA3	17T	0,73	0,05	0,05	0,16	6,26	0,09	24,20	1,22	0,05	17,80
8025912	BA1b	06T	0,41	0,05	0,48	0,23	12,10	0,09	40,00	5,99	0,04	40,40
8025917	BA1b	06T	0,52	0,05	0,21	0,25	8,20	0,08	36,10	5,38	0,05	26,70
8025922	BA1b	11T	0,02	0,05	0,12	0,52	16,30	0,09	49,00	7,77	0,05	32,00
8025923	BA1b	11T	0,53	0,05	0,05	0,31	6,81	0,19	106,00	3,26	0,05	13,30
8025925	BA2	15TB	0,53	0,05	0,05	0,33	8,26	0,07	35,90	3,27	0,05	17,80
8025928	BA4	22T	0,22	0,06	0,06	1,25	15,30	0,09	45,10	5,75	0,06	35,30

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Distância Rio Doce	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025934	BA4	22T	3,15	0,05	0,05	0,23	4,11	0,05	14,90	3,07	0,05	19,60
8025935	BA2	13T	0,71	0,05	0,05	0,25	7,45	0,05	35,80	4,14	0,05	52,40
8025940	BA1b	11T	0,43	0,05	0,07	0,22	6,87	0,05	25,80	3,54	0,05	17,30
8025949	BA2	15TA	0,73	0,05	0,05	0,25	7,54	0,07	32,50	10,00	0,05	25,30
8025952	BA1b	12T	0,34	0,05	0,15	0,21	7,23	0,13	63,80	4,93	0,05	22,50
8025954	BA1b	05T	0,32	0,05	0,05	0,19	6,91	0,05	15,70	2,85	0,05	20,50
8026175	BA1b	10T	2,08	0,10	0,11	1,05	26,40	0,14	60,40	4,13	0,10	33,50
8026176	BA1b	07T	2,63	0,05	0,05	0,30	7,33	0,16	36,80	3,02	0,05	19,00
8026177	BA1b	10T	0,04	0,05	0,05	0,21	8,72	0,05	22,40	3,93	0,05	31,00
8026181	BA1a	02T	6,97	0,05	0,05	0,23	7,02	0,05	7,64	2,08	0,05	19,30
8026182	BA1b	12T	1,38	0,05	0,05	0,21	8,28	0,05	11,30	1,74	0,05	53,10
8026184	BA4	22T	2,09	0,04	0,04	0,27	7,56	0,07	33,70	3,68	0,04	27,70
8026189	BA3	PS	0,00	0,05	0,05	0,25	6,69	0,05	29,40	6,65	0,05	16,10
8026194	BA2	14T	3,18	0,05	0,05	0,22	5,68	0,23	96,20	5,18	0,05	21,50
8026197	BA3	18TB	2,95	0,05	0,05	0,25	5,53	0,05	20,90	5,35	0,05	33,00
8026198	BA4	23T	0,60	0,05	0,05	0,21	6,01	0,13	98,80	10,10	0,05	25,80
8026199	BA3	18TB	4,44	0,05	0,05	0,23	5,97	0,05	14,50	4,39	0,05	25,00
8026200	BA1b	06T	0,30	0,05	0,05	0,18	6,68	0,05	11,20	1,72	0,05	14,20
8026201	BA3	09I	0,00	0,05	0,05	0,19	4,73	0,07	32,50	4,70	0,05	15,20
8026202	BA3	17T	0,01	0,06	0,05	0,23	10,50	0,11	57,70	8,11	0,05	44,40
8026203	BA2	15TC	4,37	0,05	0,05	0,32	10,10	0,07	47,30	4,32	0,05	44,40
8026204	BA2	15TB	0,30	0,05	0,05	0,18	6,31	0,05	24,50	3,78	0,05	16,90
8026205	BA1b	05T	0,18	0,36	0,03	0,11	6,78	0,17	12,40	4,11	0,03	16,50
8026206	BA2	14T	0,96	0,05	0,05	0,35	9,10	0,06	56,60	3,04	0,05	43,70
8026207	BA1b	06T	0,41	0,27	0,05	0,68	7,66	0,21	49,20	1,59	0,05	21,20

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Distância Rio Doce	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8026209	BA4	23T	2,60	0,13	0,13	0,91	23,80	0,24	76,20	23,80	0,13	19,50
8026210	BA4	23T	1,27	0,05	0,05	0,78	5,02	0,10	27,00	5,63	0,05	18,50
8026212	BA1b	07T	0,03	0,05	0,05	0,22	8,93	0,05	35,50	5,65	0,05	41,20
8026213	BA3	20T	1,09	0,05	0,05	0,32	7,86	0,05	18,30	2,02	0,05	29,30
8026216	BA3	18TB	4,60	0,05	0,05	0,21	6,32	0,05	15,20	2,74	0,05	20,90
8026218	BA1b	07T	1,64	0,05	0,05	0,26	8,04	0,09	20,10	2,60	0,05	14,30
8026219	BA2	14T	3,84	0,05	0,05	0,34	4,28	0,05	28,80	2,27	0,05	10,50
8026220	BA4	22T	3,16	0,05	0,05	0,15	4,27	0,06	45,60	5,18	0,05	17,10
8026222	BA4	23T	1,43	0,05	0,05	0,29	10,90	0,27	53,60	5,40	0,05	12,70
8026224	BA3	20T	3,74	0,05	0,06	0,28	9,26	0,05	18,20	3,99	0,05	43,90
8026226	BA1a	02T	5,40	0,05	0,05	0,12	4,74	0,05	10,50	1,39	0,05	25,80
8026228	BA3	20T	3,98	0,05	0,13	0,47	16,80	0,24	48,90	14,30	0,05	83,90
8026229	BA1b	08T	2,49	0,05	0,10	0,37	11,00	0,06	47,00	3,33	0,05	26,70
8026230	BA1b	05T	0,35	0,39	0,05	0,31	8,33	0,10	35,00	3,94	0,05	33,90
8026231	BA1a	02IF	0,00	0,22	0,10	0,21	6,61	0,30	72,80	2,71	0,03	22,60
8026232	BA2	14T	1,50	0,05	0,05	0,25	6,87	0,05	36,10	1,54	0,05	11,10
8026233	BA1b	08T	4,14	0,05	0,09	0,37	13,50	0,10	32,20	4,56	0,05	23,60
8026234	BA3	20T	2,07	0,05	0,05	0,25	7,62	0,07	31,00	3,27	0,05	43,60
8026235	BA1a	01T	10,71	0,16	0,05	0,05	2,32	0,05	0,05	1,05	0,05	12,80
8026236	BA3	20T	1,17	0,05	0,05	1,13	5,56	0,06	24,70	3,61	0,05	35,90
8026237	BA1b	06T	0,52	0,20	0,04	0,58	4,16	0,12	52,20	1,30	0,04	48,80
8026238	BA4	23T	4,09	0,05	0,05	0,24	6,50	0,12	15,00	1,40	0,05	20,70
8026239	BA1b	08T	1,92	0,05	0,05	0,27	9,05	0,05	31,00	4,29	0,05	36,40
8026242	BA1a	01T	11,70	0,05	0,04	0,12	4,61	0,07	3,44	1,24	0,04	18,30
8026243	BA3	PS	0,87	0,05	0,05	0,29	6,60	0,08	117,00	5,40	0,05	30,10

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Distância Rio Doce	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8026244	BA1b	06T	0,52	0,50	0,03	0,17	7,05	0,21	36,10	3,38	0,03	19,10
8026246	BA1a	01IF	0,00	0,34	0,04	0,30	9,93	0,26	76,40	2,26	0,04	24,90
8026247	BA2	13T	0,14	0,05	0,05	0,15	4,31	0,05	32,50	1,34	0,05	8,87
8026248	BA1b	07I	0,00	0,19	0,08	0,33	8,83	0,10	34,50	0,59	0,08	100,00
8026249	BA1a	01T	12,70	0,24	0,04	0,09	4,05	0,14	11,40	1,38	0,04	16,90
8026250	BA1b	06T	0,48	0,49	0,04	0,31	9,09	0,24	92,00	2,40	0,04	16,60
8026251	BA4	22T	0,56	0,06	0,06	0,30	9,90	0,07	23,10	4,68	0,06	19,50
8026252	BA2	14T	4,87	0,05	0,05	0,23	6,77	0,09	44,70	8,02	0,05	36,90
8026253	BA3	18TB	4,96	0,05	0,05	0,20	6,75	0,05	19,20	4,87	0,05	23,20
8026254	BA2	14T	2,92	0,05	0,05	0,20	5,77	0,06	42,80	2,89	0,05	15,50
8026255	BA3	PS	0,49	0,05	0,05	0,33	8,89	0,08	69,30	4,86	0,05	41,50
8026256	BA1b	12T	2,24	0,05	0,05	0,38	10,40	0,05	9,30	1,63	0,05	17,40
8026257	BA1b	10T	2,84	0,05	0,05	0,18	7,29	0,05	11,90	2,35	0,05	38,80
8026258	BA1b	08T	2,92	0,05	0,05	0,17	5,84	0,05	29,30	2,66	0,05	39,90
8026259	BA1a	02T	6,23	0,05	0,05	0,14	4,04	0,05	5,83	1,22	0,05	15,60
8026260	BA2	14T	2,17	0,05	0,05	0,11	3,65	0,05	25,80	3,56	0,05	6,82
8026261	BA1b	04TA	1,79	0,24	0,07	0,51	9,51	0,20	35,90	1,20	0,07	55,30
8026262	BA1b	06T	0,22	0,24	0,05	0,17	5,73	0,07	36,00	1,89	0,05	15,30
8026263	BA1b	10T	3,75	0,05	0,05	0,31	11,80	0,05	21,80	1,72	0,05	55,30
8026264	BA2	15TB	1,47	0,05	0,05	0,24	4,99	0,06	23,10	6,82	0,05	21,00
8026265	BA3	PC	0,87	0,05	0,05	0,19	7,31	0,10	49,50	5,61	0,05	24,80
8026266	BA1b	06T	0,30	0,26	0,05	0,19	6,33	0,06	14,60	0,93	0,05	14,60
8026267	BA1a	02T	5,57	0,05	0,05	0,20	7,75	0,05	6,67	2,31	0,05	13,10

Quadro 45. Correlações de *Spearman* entre as concentrações de metais pesados nos tecidos das formigas e a distância para o rio Doce, durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Metal	BA1a	BA1b	BA2	BA3	BA4
Arsênio	N.S.	N.S.	N.S.	-0,47	N.S.
Cádmio	-0,77	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Chumbo	-0,84	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Cobre	-0,78	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Cromo	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Ferro	-0,69	N.S.	N.S.	-0,56	N.S.
Manganês	-0,76	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Mercúrio	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Zinco	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Valores apresentados são apenas das correlações significativas ($p < 0,05$); os sinais representam a tendência encontrada na correlação (positiva ou negativa); N.S. sinaliza resultados não significativos.

3.2.3.5. Discussão

3.2.3.5.1. Análise geral

O método de coleta com armadilhas *pitfall* foi o mais eficaz, com captura superior a 80% da diversidade de espécies em todos os BA amostrados. Poucas foram as espécies amostradas exclusivamente por *iscas* atrativas. Desta forma, sugerimos que o método de armadilha por *pitfall* seja a única metodologia a ser usada para a captura da assembleia de formigas nas próximas coletas.

As curvas de extrapolação e cobertura da amostragem de formigas também reiteram a eficácia dos *pitfalls* em amostrar a assembleia de formigas e apresentam sua superioridade em relação às *iscas* principalmente no BA1b, BA2 e BA3 (**Figura 31** e **Figura 32**). Os índices apontam maior diversidade para dois blocos, teoricamente mais simplificados, com menor cobertura florestal ou redução de habitat natural. Como o índice não é relacionado à heterogeneidade das áreas não é possível associar essa maior diversidade a um maior número de espécies de habitats florestais ou decorrentes do oportunismo em habitats abertos (AHUATZIN et al., 2019). A maior heterogeneidade no BA4 parece estar relacionada com o grau de perturbação do ambiente. Uma perturbação recente pode permitir a entrada de inúmeras espécies oportunistas. Além disso, o BA4 está inserido em um contexto único com áreas em distintos estados de

conservação e estágios de sucessão. Isto torna a região um mosaico de formações que influenciam de formas distintas cada uma das parcelas que por si só podem apresentar baixa diversidade local.

3.2.3.5.2. Análise padronizada

Em todos os Blocos Amostrais observamos ao menos uma relação entre componentes da riqueza de formigas e distância do rio Doce. Isso pode estar relacionado a:

- i. o impacto causado nas regiões de matas ciliares, como o desmate histórico na bacia (COSTA; RIBEIRO; CASTRO, 2010);
- ii. a relação positiva entre porcentagem de areia fina no solo e espécies menores que 0,5 cm que mudam da margem do rio para o interior das matas (COSTA; RIBEIRO; CASTRO, 2010);
- iii. no caso do BA4, região de Mariana, impactos diretos no rio, como o rompimento da barragem, que removeram mecanicamente grande parte da vegetação ripária, já que a vegetação é essencial para a presença de uma importante parcela da comunidade de formigas (OMACHI et al., 2018).

Por motivos parecidos com os descritos acima a distância pode afetar não somente a riqueza, mas também a composição de espécies no BA1b. A distância de centros urbanos e da UC mais próxima também podem afetar a composição de espécies no BA3, pois a UC provavelmente serve como fonte de espécies para as áreas circunvizinhas e a distância influencia diretamente na chegada destas espécies à outras matas. De forma contrária, a distância de centros urbanos mais próximo afeta esse fornecimento de maneira negativa, pois à medida que se aproximam dos centros as atividades antrópicas são intensificadas e, conseqüentemente, aumenta a frequência de impactos que podem causar mudanças abruptas nas comunidades de formigas. Isto tende a favorecer as espécies que podem se aproveitar das situações criadas pelos impactos (TSCHARNTKE et al., 2012). As *Parcelas Ripárias* parecem sofrer com a mudança de espécies com o aumento da distância da barragem o que pode ser efeito da diversidade beta e troca de espécies natural devido à distância ou a grandes mudanças de manejos ou impactos de áreas ao longo do rio Doce.

3.2.3.5.3. Análise específica

3.2.3.5.3.1. Riqueza de espécies (Abordagem 1 e 2)

Apesar de espécies oportunistas serem favorecidas em áreas com habitats mais simplificados a cobertura da floresta é essencial para a manutenção da biodiversidade de formigas de florestas tropicais (AHUATZIN et al., 2019). A distância da barragem e sua correlação positiva com espécies de formigas é mais visível para as análises com parcelas ripárias devido à proximidade das formigas com um evento de impacto nas plantas (CARVALHO et al., 2020). E a heterogeneidade da paisagem pode não ter sido algo positivo para a riqueza de formigas no BA4, pois o incremento da heterogeneidade se deu através de eventos de total remoção da vegetação.

3.2.3.5.3.2. Similaridade (Abordagem 1 e 2)

Há menor similaridade de espécies à medida que a distância da barragem aumenta, o que pode significar uma grande mudança nas assembleias de formigas ao longo do rio Doce. A relação envolvendo a heterogeneidade da paisagem se apresentou da mesma forma o que nos mostra que áreas mais heterogêneas tem mais diferenças na composição de suas espécies, o que afeta positivamente a diversidade regional no BA2. No entanto, vimos que quanto mais área nativa existe no Bloco Amostral maior é a similaridade de espécies, o que pode significar conservação das espécies nativas nos remanescentes, principalmente no BA3, na região do Parque Estadual do Rio Doce.

Desta forma, há indícios que o Parque Estadual do Rio Doce é um grande mantenedor da diversidade de espécies no BA3. Por outro lado, a heterogeneidade do habitat é um dos fatores que influenciou o aumento da diversidade de espécies na região do Parque Estadual Sete Salões.

3.2.3.5.4. Indval

As informações sobre a biologia das formigas indicadoras foram retiradas de dois dos maiores repositórios de conhecimento sobre formigas disponíveis na internet (ANTWIKI, 2019; WARD, 2013). *Camponotus blandus* é uma espécie comum em habitats abertos nativos e sazonais como savanas e/ou áreas perturbadas. Sua presença recorrente no BA2, na região do Parque Estadual Sete Salões, MG, nos mostra que há muitas áreas abertas nesta região e assim as *Parcelas Terrestres* estão ou em áreas abertas naturalmente (e.g., campos rupestres e candeiais) ou em áreas de floresta perturbadas

e em crescimento que ainda estão em processo ou necessitam de restauração. Como a espécie está localizada a uma grande distância da área do rompimento, sua presença provavelmente está relacionada à degradação que as áreas ao longo do rio Doce sofreram ao longo do tempo e ao uso do solo (**Volume I, Quadro 7**).

A presença de *Atta sexdens*, uma formiga cortadeira comum que forma enormes colônias, como espécie indicadora no BA2. A distribuição dessa espécie indica que as áreas podem se encontrar em áreas com maior disponibilidade de espécies arbóreas pioneiras (MEYER et al., 2011), ou homogêneas estruturalmente, como áreas abertas de plantações ou beiras de estradas. No entanto, a presença dessa espécie se deve não só pela disponibilidade de recursos palatáveis, como também pela preferência das rainhas em nidificar em áreas com menor concentração de serapilheira, como clareiras florestais (vegetação aberta e regeneração florestal) ou áreas perturbadas (área antropizada e pasto/cultivos), caracterizadas geralmente pela presença de pequenas plantas herbáceas, que serão principal recurso para a colônia jovem (FARJI-BRENER, 2001).

A *Cyphomyrmex transversus*, também indicadora do BA2, é uma espécie comum em serapilheira e ocorre nas áreas de Mata Atlântica. Estas formigas podem ser associadas à serapilheira de bromélias como viram (ROCHA et al., 2015) estudando a diversidade de formigas em cabrucas em Ilhéus, Brasil. Algumas *Cyphomyrmex*, como *C. rimosus* preferem locais úmidos e com vegetação densa para a nidificação. Assim, esta espécie parece ser mais comum em áreas mais preservadas ou em estágios mais avançados de recuperação.

A *Neoponera verenae*, indicadora do BA3, região do Parque Estadual do Rio Doce, é uma espécie comum e nidifica sob pedras ou galhos e madeiras. Possui colônias com poucos indivíduos. Apesar de ocorrer no Cerrado, é mais comum em florestas úmidas densas e bordas de florestas. Assim, provavelmente devido à grande variedade estrutural da vegetação e relativa conservação da Mata Atlântica nesse local ela seja uma espécie comum na região do parque.

A *Camponotus* sp.5 foi indicadora no BA4, região de Mariana, mas são dados insuficientes para levantar explicações sobre esta relação. Ainda dependemos de definição na identificação da espécie. *Ectatomma brunneum* e a *Forelius* sp.1 foram espécies indicadoras no BA1a, analisando só as *Parcelas Ripárias*. O BA1a está na região de Regência e, provavelmente, devido a vegetação ser naturalmente mais aberta,

como é a restinga, possuem formigas típicas de regiões como o Cerrado e com forte relação com vegetação que possui nectários extraflorais (e.g., *E. brunneum*) e espécies de zonas mais áridas, como as do gênero *Forelius* que também buscam exsudatos de animais que interagem com plantas, como os pulgões.

Camponotus novogranadensis, *Pheidole vafra*, *Cephalotes pusillus* e *Atta sexdens* são comuns nas *Parcelas Ripárias* do BA2. A primeira espécie nidifica em troncos e tronquinhos mortos, muitas vezes em áreas perturbadas, sendo indicadora das mesmas. *Pheidole vafra* aparece em muitos locais desde florestas a pátios cimentados, sendo bem distribuída e pode ser dispersada junto a rotas comerciais. *Cephalotes pusillus* também é encontrada em uma grande diversidade de habitat, inclusive na Mata Atlântica com plantações de cacau na região de Ilhéus, Brasil, e inúmeras vezes no Cerrado brasileiro. Neste caso, *Atta sexdens* pode estar dominando um local homogêneo com monodominância de espécies vegetais.

Neoponera verenae e *Pheidole radoszkowskii* são mais comuns em habitats contrastantes. A *P. radoszkowskii*, por exemplo, prefere habitats secos e frequentemente em ambientes antropizados (SUGUITURU et al., 2015). Isso nos indica que ao longo dos módulos estudados presentes nas *Parcelas Ripárias* ao longo do Parque Estadual do Rio Doce podem estar pouco conservadas. Assim, são áreas que merecem atenção e monitoramento em si tratando de uma Unidade de Conservação.

Dorymyrmex brunneus indicadora no BA4, na região de Mariana. São onívoras de habitats epigeicos/hipogeico/serapilheira e geralmente coletadas em áreas fortemente impactadas (RABELLO et al., 2018). Neste caso, a presença dessa espécie nas parcelas 1pr22T, 1pr23T e 2pr23T (*Parcelas Ripárias*) indica o estado de degradação e/ou ação de perturbações recentes, como é possível que tenha ocorrido com a passagem da lama proveniente do rompimento da barragem de Fundão. Assim, podemos indicar grande atenção na restauração destas áreas.

3.2.3.5.5. Metais pesados

Observamos presença de metais pesados nas comunidades de formiga em todos os Blocos Amostrais. Contudo, Zinco e Cádmiio foram os únicos metais que apresentaram concentrações acima de valores de referência testados (OGUNDELE; ADIO; OLUDELE, 2015). Os demais metais estiveram em concentrações abaixo do limite de prevenção ou necessitam de fonte para os valores de prevenção. Como as regiões de agricultura/pecuária e floresta serem as duas classes de uso do solo predominantes na paisagem da **Área de Estudo**, é prematuro neste

momento inferir que os valores obtidos acima dos valores de prevenção estejam relacionados ao rompimento da barragem do Fundão.

3.2.3.6. Conclusões e recomendações

Em geral, foi encontrado um padrão da influência da distância do rio Doce na riqueza de formigas, bem como um efeito positivo no aumento de espécies com a distância da Barragem nas *Parcelas Ripárias* (**Figura 38**). Contudo a relação negativa encontrada no BA1b para as *Parcelas Terrestre* poderá ser explicada mais pelas condições locais ambientais com o rompimento da barragem de Fundão. Assim, vimos que, em alguns pontos, esta relação se deve ao estado degradado em que as matas ciliares ao longo do Rio Doce, pré e pós-rompimento, e que por isso merecem atenção de ações de recuperação.

O BA4 apresentou uma das maiores coberturas relativas de área florestada e silvicultura (ca. 53%) e 40% da área é coberta por pasto, cultivo e áreas antropizadas (**Volume I, Quadro 7**). Portanto, a taxa de ocupação menor de espécies de formigas próximo ao rio Doce e maior à medida que se distancia, tanto para *Parcelas Terrestres* quanto *Ripárias* é um indicativo de que tanto o uso do solo pretérito quanto o rompimento da barragem de Fundão podem ter causado ou amplificado efeitos negativos na fauna de formigas na área estudada. Observamos que os padrões de riqueza e composição de espécies no BA2 podem ser, a princípio, mais atribuíveis ao uso do solo, já que esse BA possui 61% de sua área categorizada como antrópica (**Volume I, Quadro 7**), o que pode explicar a relação negativa da ocupação de das espécies de formigas com o distanciamento do rio Doce e a relação negativa entre heterogeneidade de paisagem e similaridade de espécies.

O índice de diversidade Invertido de *Simpson* nos indica que o BA4 é área com maior heterogeneidade na composição de espécies. Porém essa maior heterogeneidade de espécies é mais um indicativo do quanto o BA4 está impactado. O grupo funcional de formigas SO (Generalista epigeico/serapilheira/hipogeico pequeno) apresenta um grande percentual (48%) no BA4 o que mostra uma dominância comportamental do grupo de formigas oportunistas e generalista, que são comumente indicadoras de habitat degradados ou fortemente impactados (LASSAU; HOCHULI, 2004; LUKE et al., 2014). A espécie *Dorymyrmex brunneus* é uma representante do grupo funcional SO e foi apontada como uma espécie indicadora de qualidade ambiental pela análise de *Indval* para o BA4 o que reforça o indicativo do impacto e efeitos negativos do

rompimento da barragem de Fundão sobre as comunidades de formigas por ser uma espécie onívora, generalista e exclusivas de áreas impactadas (RABELLO et al., 2018).

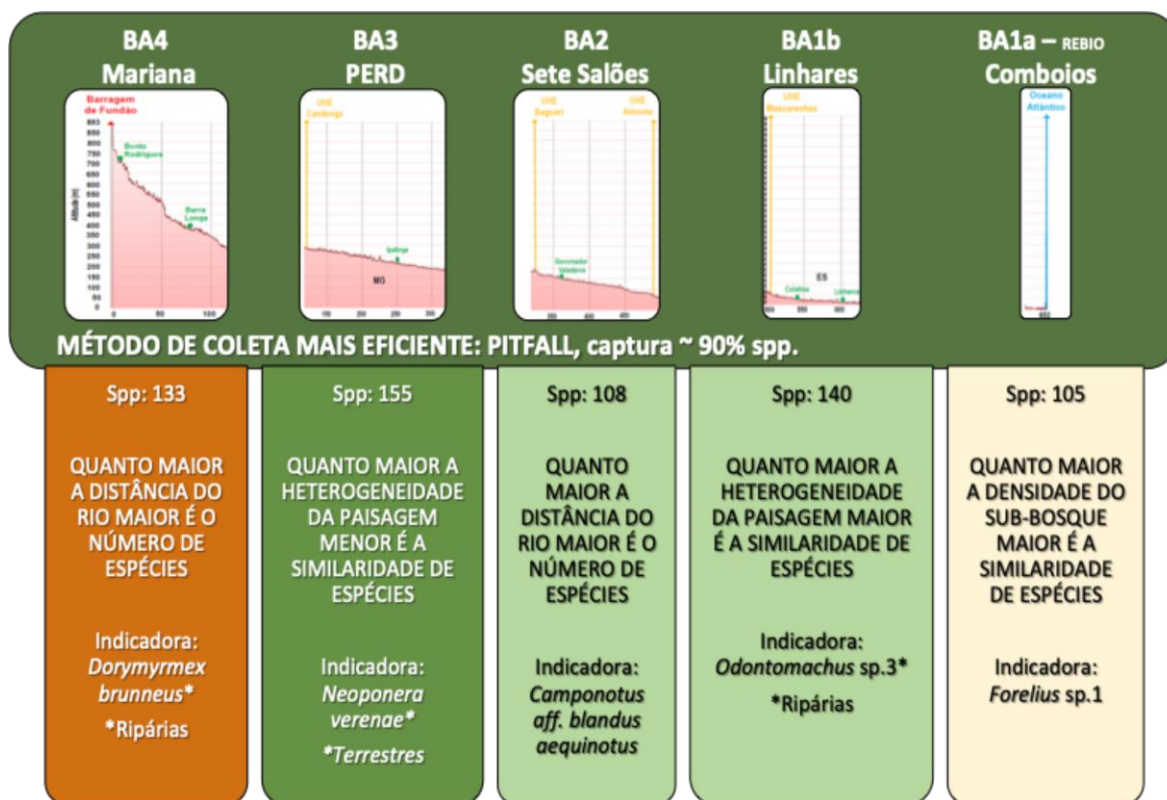


Figura 38. Resumo das principais relações das variáveis preditoras e métricas estudadas de influência para Formicidae durante as campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres em MG e ES.

De acordo com os resultados do levantamento de dados secundário para a **BHrD** e a coleta dos dados primários na **Área de Estudo** destacamos a importância da conservação em áreas do BA1b devido à presença de *Dinoponera lucida*, espécie classificada como Em Perigo (EN), endêmica do corredor central da Mata Atlântica (DELABIE et al., 2015), que está ameaçada principalmente pela fragmentação e perda do habitat natural. Também no BA1a onde registramos *Atta robusta*, classificada como Vulnerável (VU), possui distribuição limitada, endêmica de restingas, presente desde o sul do Rio de Janeiro até o norte do Espírito Santo (TEIXEIRA; SCHOEREDER; MAYHÉ-NUNES, 2003), com papel importante na dinâmica do ecossistema de restinga, principalmente na regeneração das florestas presentes nesse sistema. Ainda baseado

em dados secundários, registramos *Anochetus oriens*, classificada como Vulnerável (VU), não amostrada até agora no presente estudo, como outras espécies relevantes.

As amostras para análises de metais pesados já foram enviadas para análises, mas devido ao tempo necessário para identificação de milhares de indivíduos coletados, envio e análise laboratorial, não temos os resultados prontos para serem apresentados de forma analítica no presente documento.

Observamos com as análises de metais pesados que o grupo Formicidae apresenta acúmulo de metais. Porém, ainda é necessário responder qual o efeito da concentração desses metais na estrutura da comunidade formigas, bem como verificar até qual distância do rio Doce a acumulação de metais foi observada.

3.2.3.6.1. Recomendações metodológicas

Recomendamos o uso do *pitfall* como principal técnica de amostragem de formigas na continuação do estudo, pois é a técnica que amostra a maior diversidade do grupo, além mais prática e barata. Considerando estes dados como marco zero, acreditamos que o subsequente monitoramento amadurecerá avaliações sobre recolonização e reabilitação das áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão, pois atualmente a grande heterogeneidade de habitats intrabloco amostrais não permite maiores inferências.

3.2.3.6.2. Espécies úteis para genética de populações

No BA4 a espécie indicadora de áreas degradadas *Dorymyrmex brunneus* e espécies da subfamília Formicinae devem ser o foco de um monitoramento genético-populacional. É possível que o aumento de sua frequência e a expansão de suas populações em áreas impactadas pela onda de lama nos deem ideia de quando houve um desequilíbrio ecológico e início de colonização de espécies oportunistas e a diminuição de sua frequência, relacionada a uma recuperação ambiental, pode mostrar quando um possível sucesso da reabilitação das áreas.

Próximo à Foz do Rio Doce coletamos duas espécies de grande importância para a conservação das restingas e, conseqüentemente, da **BHRD** que podem ter suas populações monitoradas: a *Atta robusta* (Vulnerável) e a *Dinoponera lucida* (Em perigo).

3.2.3.6.3. Proposta para o monitoramento

As formigas são bastante utilizadas nos programas de monitoramento para avaliação da efetividade de reabilitações em áreas afetadas por mineração e matas ciliares (COSTA; RIBEIRO; CASTRO, 2010; RABELLO et al., 2015; RIBAS et al., 2012b). Estes organismos têm características que as credenciam neste monitoramento, pois são sésseis, sendo diretamente afetadas pelos impactos, e são capacitados para a avaliação de pequenas áreas devido ao grande número de espécies em áreas restritas. Além disso, a performance de formigas frente a funções ecossistêmicas, como a remoção de sementes e a ciclagem de nutrientes, também vem sendo utilizada como parâmetro de avaliação no sucesso das recuperações além da diversidade de espécies.

Como vimos, ao longo da bacia do Rio Doce, especialmente no BA4 e BA3, há a necessidade de implementação de programas de monitoramento das áreas em processos de restauração em pequenas e grandes áreas. Assim, é essencial que as formigas sejam utilizadas no monitoramento junto aos programas para avaliação do sucesso das restaurações, devido às características descritas acima. A escolha das áreas-piloto pode ser priorizada segundo a ordem de relevância: áreas de restauração natural, de restauração assistida, áreas florestadas e áreas diretamente afetada pelo rompimento da barragem.

3.2.3.6.4. Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento

Após o primeiro ano de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna de Formicidae na Bacia do rio Doce, foi possível responder algumas questões levantadas pelos órgãos ambientais.

1) Qual o impacto do evento sobre as espécies da fauna terrestre e aquática?

Entendemos que tal resposta dificilmente seja alcançada, pois há carência de estudos de comunidades de formigas antes e logo após o rompimento da barragem de Fundão. Encontramos relações entre a distância do rio Doce e a riqueza de espécies de formigas e uma relação positiva entre a riqueza de espécies e a distância da barragem nas *Parcelas Ripárias*. No entanto, apesar do presente estudo trazer alguns efeitos das variáveis preditoras sobre a comunidade de formigas, ainda não é possível fazermos uma associação direta com o rompimento da barragem de Fundão.

2) Houve acumulação de metais nas diferentes espécies e no solo?

Para a comunidade de formigas foi possível detectar a presença de diferentes concentrações dos metais analisados. De acordo com o estudo de OGUNDELE et al. (2015), podemos detectar a acumulação de metais pesados acima do permissivo em todos os BA estudados. Porém, ainda é necessário responder qual o efeito da concentração desses metais na estrutura da comunidade formigas, se vem afetando as populações desde o evento, e se há efeitos subletais sobre a fauna de Formicidae.

3) Até qual distância do rio Doce a acumulação de metais foi observada?

No BA1a concentração dos metais Cádmio, Chumbo, Cobre, Ferro e Manganês encontrados nos tecidos das formigas foi maior próximas ao rio Doce, enquanto que no BA3 encontramos a mesma tendência para os metais Arsênio e Ferro. Para BA1b, BA2 e BA4 não foi encontrado correlações entre concentração de metais pesados e distância do rio Doce.

4) Como os metais pesados estão circulando nas cadeias?

Não é possível responder a essa pergunta, pois não há metodologia específica no presente estudo que permita tal avaliação. No entanto, uma possibilidade de responder tal questionamento é futuramente avaliar a concentração de metais nos distintos grupos funcionais de formigas. Ou, em razão das limitações metodológicas, analisar somente algumas espécies da subfamília Formicinae, que se alimentam quase exclusivamente de exsudados rico em açúcares produzidos por nectários extraflorais.

5) Como as taxas de ocupação das diferentes espécies são afetadas pelas distâncias de rios, bordas, estradas e ferrovias, e aspectos físicos e químicos?

Em todos os BA observamos ao menos uma relação entre componentes da riqueza de formigas e distância do rio Doce. Vimos também que a distância de “centros urbanos” e da “UC mais próxima” também podem afetar a composição de espécies no BA3, pois a UC provavelmente serve como fonte de espécies para as áreas circunvizinhas e a distância influencia diretamente na chegada destas espécies à outras matas. A distância de centros urbanos mais próximo afeta esse fornecimento de maneira negativa, pois à medida que se aproximam dos centros as atividades antrópicas são intensificadas e, conseqüentemente, aumenta a frequência de impactos que podem causar mudanças abruptas nas comunidades de formigas. Isto tende a favorecer as espécies mais ligadas

a áreas impactadas (TSCHARNTKE et al., 2012). Apesar disso, os dois fatores não possuem relação direta com o rompimento da barragem de Fundão.

6) Áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC) e aquelas fora de UC são semelhantes em termos de estruturas de comunidades ou são complementares?

Observamos que quanto mais área nativa existir em um BA maior é a similaridade de espécies, o que pode significar conservação das espécies nativas nos remanescentes, principalmente no BA3, na região do Parque Estadual do Rio Doce. Vimos que a “distância da UC” mais próxima influenciou a mudança na composição de formigas capturadas no BA3 para as *Parcelas Terrestres*. Enquanto para as *Parcelas Ripárias* houve influência da distância da “UC mais próxima” no BA1b.

7) Como se dará a recolonização das áreas que foram restauradas?

Não é possível responder esta pergunta com apenas duas coletas em duas diferentes estações e através deste delineamento. Além disso, nenhuma parcela amostrada no primeiro ano de monitoramento do grupo Formicidae se encontra em áreas que foram restauradas ou estão em recuperação. No entanto, considerando estes dados como marco zero e acreditamos que o subsequente monitoramento amadurecerá avaliações sobre recolonização e reabilitação das áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão e que foram restauradas.

8) É possível detectar mudanças na composição de espécies de fauna terrestre afetadas pelo desastre?

Até o momento não é possível fazer uma associação direta entre mudanças na composição de espécies e o rompimento da barragem de Fundão. O que encontramos foi uma forte presença de espécies oportunistas no BA4, próximo a barragem, e a indicação de áreas impactadas através da presença de *Dorymyrmex brunneus*, que sugere uma grande modificação recente nos locais amostrados.

3.2.4. Ordem Coleoptera, Família Scarabaeidae

3.2.4.1. Introdução

Os besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeidae) têm hábito alimentar detritívoro, ou seja, utilizam material orgânico (fezes, carcaças e matéria orgânica em decomposição) como principal fonte de alimento (HALFFTER; MATTHEWS, 1966). Dentro da família Scarabaeidae, os besouros escarabeíneos (Subfamília Scarabaeinae) são um dos grupos da fauna mais diversos, com mais de 6.200 espécies descritas (TARASOV; GÉNIER, 2015). Embora seja um grupo cosmopolita – distribuídos em todos os continentes, exceto Antártida (“SCARABNET”, 2008) – são mais diversos nas regiões tropicais, particularmente abundantes nos ambientes florestais e savanas (HANSKI; CAMBEFORT, 1991; PHILIPS, 2011). Na América do Sul, existem ao menos 1.250 espécies, e no Brasil ca. 650 espécies, pertencentes a seis tribos (Ateuchini, Deltochilini, Coprini, Oniticellini, Onthophagini e Phanaeini) (VAZ-DE-MELLO, 2000; VAZ-DE-MELLO et al., 2011).

Devido ao seu hábito alimentar e comportamento de enterro das fezes para nidificação, esses besouros realizam diversos processos importantes para o funcionamento dos ecossistemas, bem como serviços ecológicos essenciais para o bem-estar humano (FRANÇA; LOUZADA; BARLOW, 2018; NICHOLS et al., 2008). Dentre esses processos, destaca-se a ciclagem de nutrientes, incorporação de matéria orgânica, bioturbação e aeração dos solos, dispersão secundária de sementes e redução populacional de organismos, que potencialmente podem causar problemas ao homem, como moscas hematófagas e detritívoras (BRAGA et al., 2012; GRIFFITHS et al., 2015; NICHOLS et al., 2008; SITTERS et al., 2014; SLADE et al., 2007). Por realizarem essas funções, estima-se que os besouros escarabeídeos beneficiam as indústrias agropecuárias dos Estados Unidos e Inglaterra em ca. 380 milhões de dólares e de 367 milhões de libras, respectivamente (BEYNON; WAIWRIGHT; CHRISTIE, 2015; LOSEY; VAUGHAN, 2006). Além disso, efeitos positivos das funções ecológicas realizadas por esses besouros também foram verificados para (1) a estrutura, fertilidade, e composição da microbiota do solo (BANG et al., 2005; SLADE et al., 2016a), (2) na vegetação através da redução dos impactos da seca (JOHNSON et al., 2016) e do favorecimento do estabelecimento de plântulas (GRIFFITHS et al., 2016a), e até (3) na redução de emissões dos gases do efeito estufa em pastagens (SLADE et al., 2016b).

Os besouros escarabeídeos são também considerados como excelentes bioindicadores – organismos ou comunidades que têm suas funções vitais intimamente relacionadas a variáveis ambientais, passíveis de uso como métrica indireta do efeito de agentes estressantes, como distúrbios e degradação da vegetação em ambientes naturais (GOODSELL; UNDERWOOD; CHAPMAN, 2009; MCGEOGH, 1998). Esses insetos possuem alta sensibilidade a mudanças ambientais (BICKNELL et al., 2014; BIRKETT; BLACKBURN; MENÉNDEZ, 2018; MENÉNDEZ et al., 2014), que podem provocar mudanças fisiológicas, declínios populacionais (FRANÇA et al., 2016b), mudanças na diversidade funcional (BEIROZ et al., 2018), e na composição, riqueza e biomassa das comunidades (AUDINO; LOUZADA; COMITA, 2014; FRANÇA et al., 2017). O uso de escarabeídeos na avaliação de impactos e na recuperação pós-distúrbios ocorre como forma de maximizar os benefícios de usar um grupo de organismos que dá respostas em nível taxonômico e funcional para monitorar a biodiversidade tropical (GARDNER et al., 2008), bem como por prever respostas de outros grupos, como aves e plantas (BARLOW et al., 2016; EDWARDS et al., 2012).

Dada a relevância dos escarabeídeos na avaliação de mudanças ambientais e para os processos ecológicos que favorecem a regeneração dos ecossistemas tropicais, diversos são os estudos que utilizam esses organismos para avaliar as mudanças causadas por distúrbios humanos (COSTA et al., 2017; FRANÇA et al., 2016b), bem como para monitorar a recuperação pós-distúrbio da biodiversidade (AUDINO; LOUZADA; COMITA, 2014). Por exemplo, atividades antrópicas, como a extração de madeira e incêndios florestais, levam ao declínio da riqueza, abundância e biomassa das comunidades de besouros (ANDRADE et al., 2014; BARLOW et al., 2016; FRANÇA et al., 2017). Na maioria das vezes, isso acontece devido à alteração da estrutura florestal e consequente mudanças no microclima ambiental (BIRKETT; BLACKBURN; MENÉNDEZ, 2018; MEHRABI et al., 2014). Por serem intimamente dependentes de recursos alimentares de vertebrados (fezes e carcaças), esses besouros são também negativamente impactados por distúrbios que resultem na perda de mamíferos de grande e médio porte (ANDRESEN; LAURANCE, 2007; NICHOLS et al., 2009).

As informações mais relevantes sobre a escarabeidofauna nos estados de Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES) se restringem a escassos levantamentos de espécies. Até o ano de 2000, haviam sido registradas ca. 81 (seis endêmicas) e 182 (10 endêmicas) espécies no ES e MG, respectivamente (VAZ-DE-MELLO, 2000). O conhecimento da fauna de besouros associada à **BHRD** também é limitado à poucos estudos, e os que

existem ocorreram apenas no ES (LOUZADA; SCHIFFLER; VAZ-DE-MELLO, 1996; SCHIFFLER; Z. VAZ-DE-MELLO; AZEVEDO, 2003; VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008). SCHIFFLER et al. (2003), por exemplo, encontraram 23 espécies em seis UA que incluíam áreas de cabruca e mata de aluvião junto à margem sul do rio Doce, próximo ao município de Linhares. Outros estudos encontraram até treze espécies descritas de besouros escarabeídeos (LOUZADA; SCHIFFLER; VAZ-DE-MELLO, 1996; VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008). Embora desenvolvidos em restingas da Ilha de Guriri – região relativamente distante da área de escopo deste estudo – são os únicos registros de ocorrência na **BHrD**. Além disso, reportam a influência negativa de distúrbios antrópicos reduzindo a riqueza e abundância de escarabeídeos (LOUZADA; SCHIFFLER; VAZ-DE-MELLO, 1996; VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008).

Este relatório busca apresentar os resultados das campanhas de dados que avaliaram os impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre a biodiversidade terrestre, em particular, nas comunidades de besouros escarabeídeos na **BHrD**.

3.2.4.2. Objetivos específicos

- Quantificar os impactos do desastre ambiental decorrente do rompimento da barragem de Fundão sobre a escarabeidofauna a partir da avaliação de mudanças na riqueza, abundância e composição de espécies das comunidades de besouros.
- Avaliar se o esforço amostral utilizado é adequado para a avaliação das consequências ecológicas causadas pelo rompimento da barragem de Fundão sobre as comunidades de escarabeídeos.
- Investigar se existe uma relação entre a distância do Rio Doce e os padrões de abundância, riqueza e composição de espécies de besouros.

3.2.4.3. Material e métodos

3.2.4.3.1. Área de estudo

O alvo do estudo corresponde aos ecossistemas terrestres que ocorrem à jusante da barragem de Fundão, em Mariana (MG) até a foz do rio Doce, em Linhares (ES). A área está localizada na **BHrD** (**Volume I, Mapa 1**), no domínio morfoclimático da Mata Atlântica – caracterizado por regiões montanhosas e uma estreita zona de matas

costeiras e ripárias (AB'SABER, 1977). Essa região é reconhecida como um dos *hotspots* mais importantes para a conservação da biodiversidade (MYERS et al., 2000).

3.2.4.3.2. Período de estudo

O presente relatório apresenta dados a partir de duas campanhas de coleta. A primeira, realizada durante a estação seca de 2018, ocorreu através de dois períodos de amostragem: 11/07 a 03/08, e 29/08 a 20/09. A segunda campanha foi realizada durante a estação chuvosa de 2019, em um único período de amostragem: 25/01 a 29/03. As atividades de campo da campanha seca foram realizadas sob a coordenação do biólogo Dr. Wallace Beiroz Imbrosio da Silva, que contou com o apoio de Davidson C. F. de Jesus (1ª amostragem), e Marina Lorentz (2ª amostragem). As atividades da campanha chuvosa foram realizadas pelos biólogos MSc. Agnis Cristiane de Souza e Dr. André Luíz Batista Tavares (**Quadro 46**). Todas as amostragens foram amparadas pela licença de coleta nº 6/2018-CGBIO/DBFLO.

Quadro 46. Períodos de campo para o estudo de besouros escarabeídeos durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Equipes	Biólogos	Período	Dias amostrados
1	Wallace Beiroz Imbrosio da Silva e Davidson C. F. de Jesus	11/07 - 03/08/2018	24
2	Wallace Beiroz Imbrosio da Silva e Marina Lorentz	29/08 - 20/09/2018	23
3	Agnis Cristiane de Souza e André Luíz Batista Tavares	25/01 - 29/03/2019	64

3.2.4.3.3. Amostragem de dados primários

A amostragem ocorreu nas parcelas de amostragem padronizada (unidade amostral; UA) com seis pontos de coleta, distantes 50 m entre si, em cada uma das 108 parcelas (**Volume I, Quadro 1; Mapa 1**). Em cada ponto de coleta, foi instalada uma armadilha de queda do tipo *pitfall*, que consiste de um recipiente plástico de 1 L (15 cm de diâmetro) enterrado ao nível do solo (**Foto 11, A-B**). Em cada armadilha, foi colocado um copo plástico de 50 ml contendo ca. 30 g de isca atrativa, mantido por um suporte

de metal. Em cada UA, as armadilhas foram iscadas de forma aleatória com fezes humanas, banana fermentada com cerveja ou fígado bovino em decomposição (SILVA; VAZ-DE-MELLO; DI MARE, 2012). Deste modo, cada UA continha duas armadilhas para cada tipo de isca. Uma solução composta por água, detergente e sal foi adicionada à cada armadilha para conservar os insetos capturados e quebrar a tensão superficial da água, impedindo que os besouros fugissem. As armadilhas ficaram expostas em campo por 24 horas. Após serem coletados, os besouros foram armazenados em uma solução de álcool a 70% e transportados para laboratório.

Das 108 parcelas inicialmente programadas para a amostragem da estação chuvosa, 26 não puderam ser amostradas devido a problemas encontrados durante o período de coleta (**Volume I, Item 5.2; Quadro 47**). Dessa forma, o esforço amostral final da campanha da estação seca consistiu de 678 armadilhas, e da chuvosa de 492 armadilhas.

Durante as campanhas, também instalamos armadilhas de coleta de besouros vivos para avaliar a presença de metais pesados possivelmente provenientes dos resíduos de mineração liberados no rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. Deste modo, uma armadilha *pitfall* adicional foi instalada em cada parcela (**Foto 11, C-D**). Esta armadilha consistia em uma garrafa PET de 2 L com o terço superior cortado e voltado para dentro da garrafa, formando um funil que induzia a entrada e aprisionamento dos besouros. Como atrativo foi utilizado 30 g de fezes humanas, depositadas em um copo plástico suspenso por um suporte de arame em cima da armadilha. Não foi utilizada solução mortífera para não influenciar as análises, e os indivíduos foram coletados ainda vivos. Na estação seca, os indivíduos coletados foram transferidos e armazenado em uma folha de papel alumínio que os manteve imobilizados. A folha de alumínio com o material coletado foi então colocada dentro de um saco plástico juntamente com um pedaço de algodão umedecido com acetona para matar os indivíduos, e posteriormente foram mantidos congelados. Na estação chuvosa, os indivíduos coletados foram transferidos e armazenados dentro de um saco plástico e mortos por congelamento. A diferença no armazenamento e sacrifício dos besouros nas estações seca e chuvosa não alteram os resultados finais. Todos os insetos coletados foram mantidos congelados até serem levados ao laboratório, onde foram triados, identificados e novamente depositados em um congelador até o momento da análise de metais pesados.

Quadro 47. Relação dos módulos e parcelas não amostrados dentro das abordagens terrestre, ripária e ilha, durante a campanha chuvosa do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostral	Terrestre	Ripária	Ilha
BA 1a e 1b	4TA 1p	4T 1pr	1IF 1p
	4TA 2p	4T 2pr	2IF 1p
	4TB 1p	4T 3pr	4TC 1p
	4TD 1p		7I 1p
	5T 3p		
BA3	18TA 1p	PS 3pr	PS 2pr
		PERD 1pr	
		PERD 5pr	
		PS 1pr	
		20T 1pr	
		20T 3pr	
BA4	23T 5p		
	22T 3p		
	18TA 2p		
	18TA 3p		
	23T 2p		
	23T 3p		



Foto 11. Métodos de coleta utilizados para capturar Scarabaeidae, durante a primeira campanha, na estação seca, de julho a outubro de 2018, no estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. A-C, primeiro tipo de armadilha com solução letal. (A e B) Primeiro tipo de armadilha, com solução letal; (C e D), segundo tipo de armadilha para coleta de besouros vivos.

3.2.4.3.4. Procedimentos de laboratório

Todo o material coletado em campo foi levado para o Laboratório de Ecologia e Conservação de Invertebrados (LECIN) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) para a triagem e posterior identificação. O processo de triagem e identificação ficou a cargo do biólogo MSc. Julius César Cerqueira Silva. No laboratório, o material coletado foi transferido dos sacos plásticos de coleta para bandejas brancas de plástico (50 cm x 30 cm), onde os besouros pertencentes à família Scarabaeidae foram separados do restante do material (outros organismos, folhas e terra). Com o auxílio de uma pinça entomológica, os besouros foram transferidos para mantas entomológicas (envelope feito de jornal com uma camada interna de algodão; **Foto 12**). Cada manta entomológica foi etiquetada com os respectivos dados de coleta. As mantas foram então deixadas em estufa à 40° C durante 5 dias para a secagem dos indivíduos. Após a secagem, as mantas foram colocadas dentro de sacos plásticos transparente juntamente com duas pastilhas de naftalina e armazenados em caixa organizadora até o momento da identificação. O restante do material coletado (separados dos besouros escarabeídeos) foi armazenado em sacos plásticos contendo álcool 70% e depositados no LECIN.

Para a triagem do material destinado às análises de metais pesados, as amostras foram retiradas do congelador e descongelados em temperatura ambiente. Posteriormente, o material foi depositado em uma bandeja branca, onde os besouros foram separados do restante do material, e limpos com o auxílio de uma pipeta com água. Os besouros separados foram transferidos para mantas, etiquetados com seus dados de coleta e depositadas novamente em congelador até o momento da identificação.

Todos os indivíduos amostrados foram identificados até o menor nível taxonômico possível, com base na chave de classificação de gênero e subgênero de Scarabaeinae do novo mundo (VAZ-DE-MELLO et al., 2011) e através de consulta com especialistas. Os besouros foram contabilizados e identificados com o auxílio de um microscópio estereoscópico da UFLA.



Foto 12. Biólogo Julius C. Cerqueira Silva, especialista em besouros escarabaeíneos, realizando triagem do material coletado em campo (A), e besouros dispostos em manta após triagem (B). Besouros coletados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.4.3.5. Tombamento do material testemunho

A primeira fase do tombamento está em desenvolvimento sob responsabilidade do biólogo MSc. Julius César Cerqueira Silva, que iniciou a montagem das três coleções de referência dos besouros coletados nos ecossistemas terrestres que ocorrem à jusante da barragem de Fundão, em Mariana (Minas Gerais) até a foz do rio Doce, em Linhares (Espírito Santo). O processo final de tombamento do material testemunho será realizado nas instituições que receberão as coleções de identificação dos besouros, bem como todo o material coletado – essas incluem a Seção de Entomologia da Coleção Zoológica da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), e a Coleção de Referência de Escarabaeíneos Neotropicais (CREN) da UFLA.

3.2.4.3.6. Análises dos dados

3.2.4.3.6.1. Dados secundários da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Foi realizada uma busca sistemática da literatura nas bases de dados (SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, ESCI) do [*ISI Web of Knowledge \(WoS\)*](https://www ISI Web of Knowledge (WoS)), filtrando para artigos publicados em português e inglês entre 1900 e 2019 (*timespan* = todos os anos, data da pesquisa = 02/09/2019), e usando os seguintes termos de busca: “rio Doce” AND “(*biodiversity*

OR biodiversidade)” AND “(*Brazil* OR Brasil)”. Complementamos com a busca por possíveis ocorrências da fauna de escarabeídeos em listas de espécies da fauna ameaçadas de extinção nos estados de MG e ES, e por estudos presentes no “Catálogo de Teses e Dissertações” da CAPES (CAPES-CTD; palavras-chave usadas: “rio Doce”, “besouros”; áreas de conhecimento: “Ecologia”, “Ecologia Aplicada”, “Ecologia de Ecossistemas” e “Zoologia”). Levantamentos de literatura baseados apenas no WoS possuem limitações como, por exemplo, menor chance de encontrar estudos focando em nível de espécie, não catalogar a “literatura cinza” (atendida pelo CAPES-CTD) e/ou encontrar estudos que citam os termos buscados (e.g., rio Doce) no título, palavras-chave e resumo (NORIEGA et al., 2018).

3.2.4.3.6.2. Status de conservação

Dados do *status* de conservação da escarabeidofauna foram extraídos do Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (ICMBIO/MMA, 2018b), da Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção no Espírito Santo (PASSAMANI; MENDES, 2007) e da Lista da Fauna Ameaçada de Extinção de Minas Gerais (COPAM, 2010).

3.2.4.3.6.3. Sucesso amostral

Para avaliar se o esforço amostral realizado foi adequado para subsidiar a avaliação de padrões e evidências observados nas comunidades de besouros, curvas de acumulação de espécies baseadas nos números de amostras e de indivíduos foram calculadas. Esse é um método amplamente utilizado na literatura, tanto para comparação dos padrões de riqueza, quanto para verificar a eficiência do esforço amostral (e.g., CAMPOS; HERNÁNDEZ, 2015). As curvas e intervalos de confiança (95%) foram gerados utilizando a função *specaccum* do pacote *vegan* (OKSANEN et al., 2015), através do método de rarefação com 1000 permutações. Os gráficos foram construídos utilizando a função *ggplot* no pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2009). As análises e figuras foram realizadas no Software R (R CORE TEAM, 2018).

3.2.4.3.6.4. Distribuição geográfica

A busca por material bibliográfico resultou em 283 estudos científicos (WoS: 16 e CAPES-CTD: 267). Nenhuma das teses e dissertações encontradas abordaram a escarabeidofauna da **BHrD** e a partir dos artigos obtidos no WoS, registrou-se 21 espécies descritas de provável ocorrência nos arredores da bacia (**Quadro 48**). Dada a

escassez de estudos, a distribuição geográfica dessas 21 espécies foi baseada em levantamentos da fauna de besouros realizados no Delta do rio Doce e vale Suruaca (SCHIFFLER; Z. VAZ-DE-MELLO; AZEVEDO, 2003), e na Ilha de Guriri (LOUZADA; SCHIFFLER; VAZ-DE-MELLO, 1996; VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008) – todos no Espírito Santo.

Quadro 48. Levantamento de dados secundários de besouros Scarabaeidae para os municípios da **BHRD**, parte do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Espécies*	¹ LIN	² GUR1**	³ GUR2***
<i>Ateuchus squalidus</i> (Fabricius, 1775)	1897	3 (B), 117 (C), 594 (F)	7561
<i>Canthon staigi</i> (Pereira, 1953)	1843	-	27
<i>C. smaragdulus</i> (Fabricius, 1781)	37	-	-
<i>C. prox. luctuosus</i> (Harold, 1868)	18	-	-
<i>C. lituratus</i> (Germar, 1824)	42	1 (F)	18
<i>Chalcocopris hesperus</i> (Olivier, 1789)	1	-	-
<i>Coprophanaeus dardanus</i> (MacLeay, 1829)	96	-	-
<i>Dichotomius</i> aff. <i>laevicollis</i> (Felsche, 1901)	-	-	1670
<i>D. sericeus</i> (Harold, 1867)	158	-	-
<i>D. nisus</i> (Olivier, 1789)	25	2 (F)	3
<i>D. geminatus</i> (Arrow, 1913)	1192	1 (B), 1 (C), 40 (F)	148
<i>D. semisquamosus</i> (Curtis, 1845)	8	C (2), F (5)	3
<i>D. schiffleri</i> Vaz-de-Mello, Gavino & Louzada 2001	-	-	1415
<i>Deltochilum</i> prox. <i>trisinatum</i> (Harold, 1881)	1	-	-
<i>Eurysternus caribaeus</i> (Herbst, 1789)	2	-	-
<i>E. prox. hirtellus</i> (Dalman, 1824)	1	-	-
<i>Gromphas lacordairei</i> Brullé, 1834	-	1 (C)	-
<i>Onthophagus</i> aff. <i>hirculus</i> (Mannerheim 1829)	-	-	1
<i>Pseudocanthus xanthurum</i> (Blanchard, 1843)	1	-	-
<i>Trichillum externepunctatum</i> (Borre, 1886)	984	2 (C), 13 (F)	16
<i>T. hirsutum</i> (Boucomont, 1928)	20	-	-
Total	6326	4(B), 122 (C), 655 (F)	10862

¹LIN: Coleta realizada próximo a Linhares, ES (SCHIFFLER; Z. VAZ-DE-MELLO; AZEVEDO, 2003). ²GUR1 e ³GUR2: Coletas realizadas em diferentes habitats da ilha de Guriri, próximo a São Mateus, ES (LOUZADA; SCHIFFLER; VAZ-DE-MELLO, 1996; VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008). *Apenas espécies identificadas até o nível específico são apresentadas. **As abundâncias de cada espécie são apresentadas separadamente para cada tipo de isca utilizada (B = banana; C = carcaça; F = fezes). *** Apenas as abundâncias de indivíduos encontrados em vegetação nativa (perturbadas ou não).

3.2.4.3.6.5. Respostas da diversidade de besouros em relação à distância do rio Doce

Para verificar a relação entre a riqueza e abundância dos besouros escarabeídeos e a distância do rio Doce, utilizamos a função de NAGAI (2011). O critério de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc) foi utilizado para determinar qual modelo (linear ou segmentado) melhor expressaria essas relações entre as respostas dos besouros e a distância. Modelos com menor AICc apresentam menores perdas de informações e expressam uma maior adequabilidade (BURNHAM; ANDERSON; HUYVAERT, 2011). Nos casos em que o modelo segmentado apresentou o menor AICc, nós estimamos a ocorrência do ponto de inflexão, de maneira que pudéssemos observar em que distância do rio os padrões de riqueza e abundância mudaram de forma abrupta. Essas comparações foram realizadas para cada BA e analisando os dados das *Parcelas Ripárias* e *Parcelas Terrestres* de forma conjunta. Intervalos de confiança para as regressões e pontos de inflexão foram gerados usando as funções *boot.ci* e *confint* nos pacotes *boot* e *stats*, respectivamente. Em seguida, foram utilizados modelos lineares generalizados (GLMs) para obtenção dos valores estatísticos e para verificar se houve efeito da estação de coleta (2 níveis: seca vs. chuvosa) sobre os valores de riqueza e abundância. As análises e figuras foram realizadas no Software R (R CORE TEAM, 2018).

3.2.4.4. Resultados

3.2.4.4.1. Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Doce

Detectamos na literatura a potencial ocorrência de 21 espécies (**Quadro 48**), dentre elas destaca-se: [1] *Deltochilum trisignatum* Harold, 1981 [1980] que frequentemente ocorre em áreas de baixada da Mata Atlântica; [2] *Dichotomius schiffleri* Vaz-de-Mello, Louzada & Gavino, 2011, que é uma espécie considerada ameaçada de extinção na lista vermelha da IUCN (VAZ-DE-MELLO et al., 2013a); [3] *Oxysternon pteroderum* Nevison, 1892, que é considerada endêmica da Mata Atlântica (EDMONDS; ZIDEK, 2010), com raros registros associados às matas ripárias de grandes rios em Minas Gerais (FRANÇA et al., 2012); e [4] *Coprophanaeus machadoi* Pereira & d'Andretta 1955, que está criticamente em perigo no estado de Minas Gerais – principalmente devido à degradação florestal (CUPELLO; VAZ-DE-MELLO, 2014). Embora não tenham sido encontrados registros das espécies *O. pteroderum* e *C. machadoi* no levantamento de dados secundários e nas amostragens de besouros realizadas nas estações seca e

chuvosa, a região do presente estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna abrange a área de distribuição geográfica dessas espécies.

No levantamento de dados a partir de buscas na base dos *SpeciesLink* encontramos registros de 45 espécies, sendo 4 ameaçadas de extinção em algum grau (**Quadro 49**). Todas as espécies citadas nos estudos destacados acima (**Quadro 48**) foram também registradas através dessa fonte. Outras 24 foram exclusivamente registradas nas coleções presentes da base de dados digital, e apenas 6 delas foram registradas durante as duas coletas já realizadas.

Quadro 49. Dados secundários de besouros Scarabaeidae na base de dados *SpeciesLink* para os municípios da **BHRD**, parte do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Espécies em negrito foram exclusivamente registradas neste levantamento, não presentes no **Quadro 48**.

Espécie	Autor da espécie	IUCN	BR	MG	ES
Anomiopus germari	(Harold, 1867)	-	-	-	-
<i>Ateuchus squalidus</i>	(Fabricius, 1775)	-	VU	-	-
Bothynus cunctator	(Mannerheim, 1829)	-	-	-	-
Bothynus entellus	(Le Peletier & Serville, 1828)	-	-	-	-
<i>Canthon lituratus</i> ***	(Germar, 1824)	-	-	-	-
<i>Canthon prox. Luctuosus</i> ***	(Harold, 1868)	-	-	-	-
<i>Canthon smaragdulus</i>	(Fabricius, 1781)	-	-	-	-
<i>Canthon staigi</i>	(Pereira, 1953)	-	-	-	-
<i>Chalcocopris hesperus</i>	(Olivier, 1789)	-	-	-	-
Chasmodia emarginata	Gyllenhal 1817	-	-	-	-
Coprophanaeus bellicosus ***	(Olivier, 1789)	-	-	-	-
<i>Coprophanaeus dardanus</i> ***	(MacLeay, 1829)	-	-	-	-
<i>Deltochilum prox. trisignatum</i>	(Harold, 1881)	-	-	-	-
Deltochilum trisignatum	Harold, 1880	-	-	-	-
<i>Dichotomius aff. laevicollis</i>	(Felsche, 1901)	-	-	-	-
Dichotomius assifer	(Eschscholtz, 1822)	-	-	-	-
Dichotomius mormon	(Ljungh, 1799)	-	-	-	-
Dichotomius muticus	Luederwaldt, 1922	-	-	-	-
<i>Dichotomius nesus</i>	(Olivier, 1789)	-	-	-	-
Dichotomius quadrinodosus	(Felsche, 1901)	-	-	-	-
<i>Dichotomius schiffleri</i>	Vaz-de-Mello, Gavino & Louzada 2001	-	EN	-	CR
<i>Dichotomius semisquamosus</i>	(Curtis, 1845)	-	-	-	-
<i>Dichotomius sericeus</i>	(Harold, 1867)	-	-	-	-

Espécie	Autor da espécie	IUCN	BR	MG	ES
<i>Dichotomius sericeus aterrimus</i>	(Luederwaldt, 1929)	-	-	-	-
<i>Dichotomus geminatus</i>	(Arrow, 1913)	-	-	-	-
<i>Dynastes hercules</i>	(Linnaeus, 1758)	-	-	-	-
<i>Euetheola humilis</i>	(Burmeister, 1847)	-	-	-	-
<i>Eurysternus calligrammus</i>	Dalman, 1824	-	-	-	-
<i>Eurysternus caribaeus</i> ***	(Herbst, 1789)	-	-	-	-
<i>Eurysternus parallelus</i> ***	Castelnau, 1840	-	-	-	-
<i>Eurysternus prox. hirtellus</i>	(Dalman, 1824)	-	-	-	-
<i>Geniates barbatus</i>	Kirby, 1819	-	-	-	-
<i>Gromphas lacordairei</i>	Brullé, 1834	-	-	-	-
<i>Holocephalus eridanus</i>	(Olivier, 1789)	-	-	-	-
<i>Labarrus pseudolivinus</i>	Balthasa, 1941	-	-	-	-
<i>Megasoma anubis</i>	Chevrolat 1836	-	-	CR	-
<i>Megasoma gyas</i>	(Herbst, 1785)	-	-	EN	-
<i>Megasoma gyas</i>	(Herbst, 1785)	-	-	-	-
<i>Onthophagus aff. hirculus</i>	(Mannerheim 1829)	-	-	-	-
<i>Phileurus didymus</i>	(Linnaeus, 1758)	-	-	-	-
<i>Pseudocanthus xanthurum</i>	(Blanchard, 1843)	-	-	-	-
<i>Rutela lineola</i>	(Linnaeus, 1758)	-	-	-	-
<i>Strategus validus</i>	(Fabricius, 1775)	-	-	-	-
<i>Trichillum externepunctatum</i>	(Borre, 1886)	-	-	-	-
<i>Trichillum hirsutum</i>	(Boucomont, 1928)	-	-	-	-

*** registradas no presente estudo

3.2.4.4.2. Diagnóstico Área de Estudo

Amostramos um total de 12.949 indivíduos, de 73 espécies de besouros escarabeídeos (**APÊNDICE 28**), mais que o triplo do número de espécies previamente registradas nos arredores da **BHRD (Quadro 48)**. Nas campanhas da estação seca, foram amostrados 7.734 indivíduos de 51 espécies, e na estação chuvosa, foram amostrados 5.215 indivíduos de 62 espécies (**Quadro 50**). Apesar de ca. um terço das parcelas não terem sido amostradas na estação chuvosa (**Quadro 47**), não houve diferenças significativas na riqueza de espécies e na abundância de besouros entre as estações seca e chuvosa para a maioria dos Blocos Amostrais (**Tabela 20**).

As curvas de acumulação de espécies baseadas no número de amostras e de indivíduos na abordagem de *Parcelas Ripárias* não atingiram assíntota – mesmo quando todos os Blocos Amostrais foram analisados em conjunto, demonstrando que o aumento do

esforço amostral nessa abordagem tem potencial para encontrar mais espécies de besouros (**Figura 39, A-B**). Na abordagem de *Parcelas Terrestres*, ambas as curvas com todos os Blocos Amostrais atingiram a assíntota, mostrando que o esforço amostral foi adequado para representar as espécies de besouros nas *Parcelas Terrestres* (**Figura 39, C-D**). O baixo número de parcelas nas *Ilhas* impossibilitou que comparações fossem realizadas para essa abordagem.

Quadro 50. Riqueza e abundância de besouros Scarabaeidae coletados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Bloco Amostrai	Estação	Abordagem	Riqueza	Abundância	Totais
BA4	Seca 2018	PT	15	120	164
		PR	7	44	
	Chuva 2019	PT	20	118	226
		PR	18	108	
BA3	Seca 2018	PT	18	896	1056
		PR	11	113	
		I	3	47	
	Chuva 2019	PT	18	691	958
		PR	11	183	
		I	8	84	
BA2	Seca 2018	PT	7	534	625
		PR	7	91	
	Chuva 2019	PT	16	488	630
		PR	7	142	
BA1b	Seca 2018	PT	25	3471	4491
		PR	11	621	
		I	8	399	
	Chuva 2019	PT	23	2199	2412
		PR	8	213	
BA1a	Seca 2018	PT	11	1398	1398
		PR	0	0	
	Chuva 2019	PT	14	988	989
		PR	1	1	

Ao avaliar quais modelos melhor expressariam a relação entre as respostas dos besouros à distância do rio Doce, encontramos que ambos os modelos segmentado e

linear representam bem a influência da distância do rio Doce sob a variação da riqueza e abundância de besouros – exceto para BA4 onde apenas o modelo segmentado foi selecionado (**Tabela 20**). A riqueza e abundância de besouros aumentaram com o aumento da distância em relação ao rio Doce nos BA1a, BA1b, BA3 e BA4, mas diminuíram no BA2 (**Figura 40**). Nos modelos segmentados, os pontos de inflexão variaram entre 1.075 m (BA2) e 5.279 m (BA1a) do rio (**Tabela 20**). Os modelos que analisaram a resposta da riqueza de espécies de besouros em função do rio Doce se ajustaram em ambas as abordagens terrestre ($p < 0,001$; $\text{PseudoR}^2 = 0,312$) e ripária ($p = 0,015$; $\text{PseudoR}^2 = 0,407$; **Figura 40**. Relação entre a riqueza e abundância de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce, e pontos de inflexão calculados para os modelos segmentados, para os Blocos Amostrais 1a, BA1b, BA2, BA3 e BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. e **Figura 41**. Relação entre a riqueza de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce para as *Parcelas Terrestres* dos Blocos Amostrais 1a (A), BA1b (B), BA2 (C), BA3 (D) e BA4 (E) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.).

Tabela 20. Modelos de melhor ajuste à relação entre a riqueza e abundância de besouros Scarabaeidae a distância do rio Doce, pontos de inflexão e efeito do período de amostragem (Estação seca vs. chuvas), por BA, durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são resultados estatisticamente significativos.

Bloco Amostral	Melhor modelo	Distância	Inflexão	Período
Riqueza				
BA1a	Segmentado/linear	$F_{1,16}=13,5$; $p = 0,002$	2706,20	$F=0,01$; $p = 0,89$
BA1b	Segmentado/linear	$F_{1,72}=26,4$; $p < 0,001$	2562,84	$F=0,002$; $p = 0,96$
BA2	Segmentado/linear	$F_{1,28}=37,6$; $p < 0,001$	472,42	$F_{1,23}=21,38$; $p < 0,001$
BA3	Segmentado/linear	$F_{1,30}=29,3$; $p < 0,001$	1143,70	$F_{1,29}=0,005$; $p = 0,94$
BA4	Segmentado	$F_{1,24}=0,168$; $p = 0,68$	1112,38	$F_{1,23}=2,22$; $p = 0,14$
Abundância				
BA1a	Segmentado/linear	$F_{1,16}=30,2$; $p < 0,001$	5279,71	$F=0,01$; $p = 0,89$
BA1b	Segmentado/linear	$F_{1,72}=3,00$; $p = 0,08$	2914,48	$F=2,01$; $p = 0,16$
BA2	Segmentado/linear	$F_{1,28}=12,22$; $p = 0,001$	1075,62	$F_{1,23}=0,013$; $p = 0,908$
BA3	Segmentado/linear	$F_{1,29}=0,24$; $p = 0,62$	1143,70	$F_{1,37}=6,64$; $p = 0,014$
BA4	Segmentado	$F_{1,24}=0,006$; $p = 0,93$	1488,17	$F_{1,23}=0,85$; $p = 0,36$

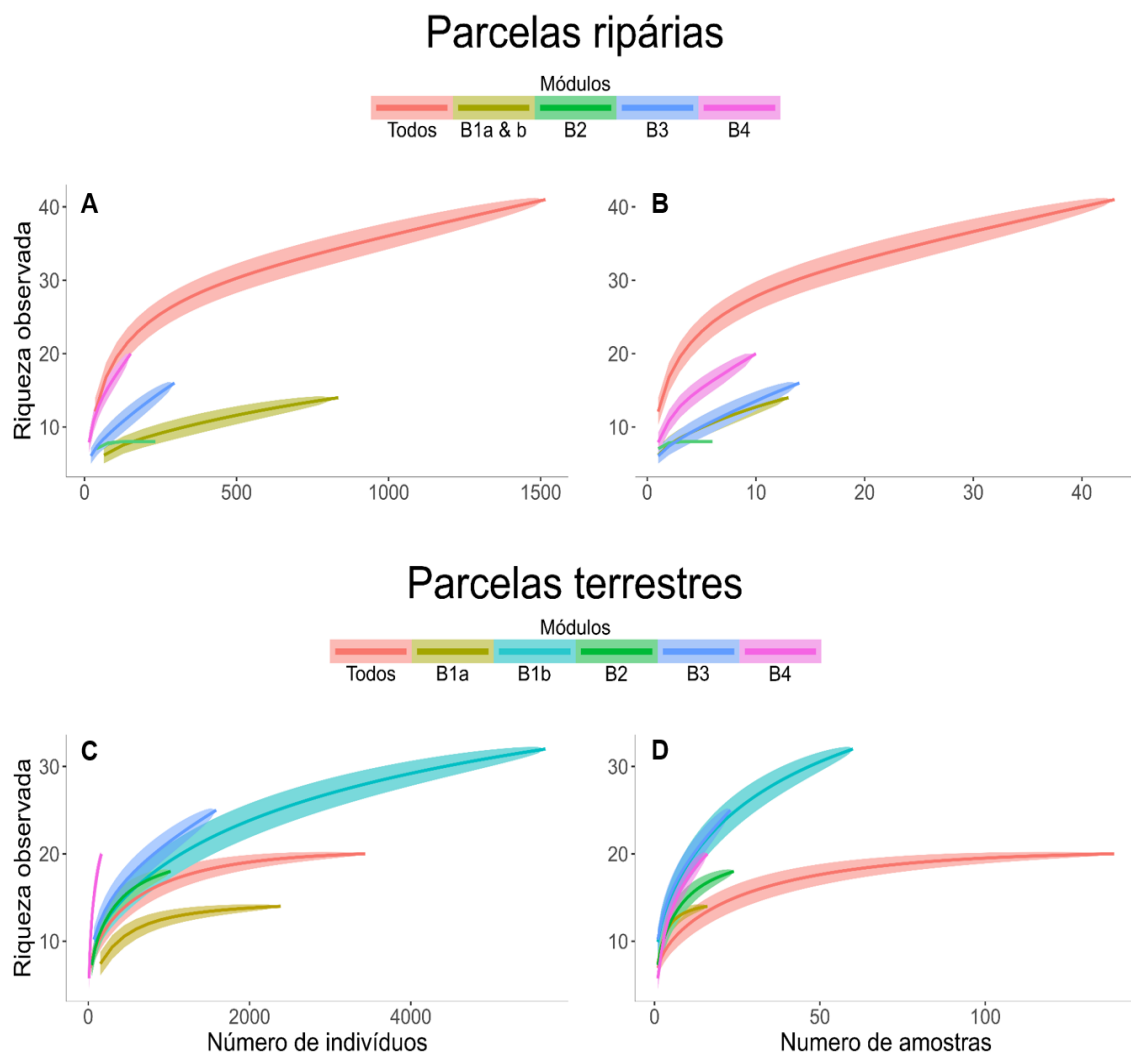


Figura 39. Curvas de acumulação de espécies de besouros Scarabaeidae baseadas nos números de amostras e de indivíduos nas *Parcelas Ripárias* (A-B) e *Parcelas Terrestres* (C-D). Besouros coletados durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

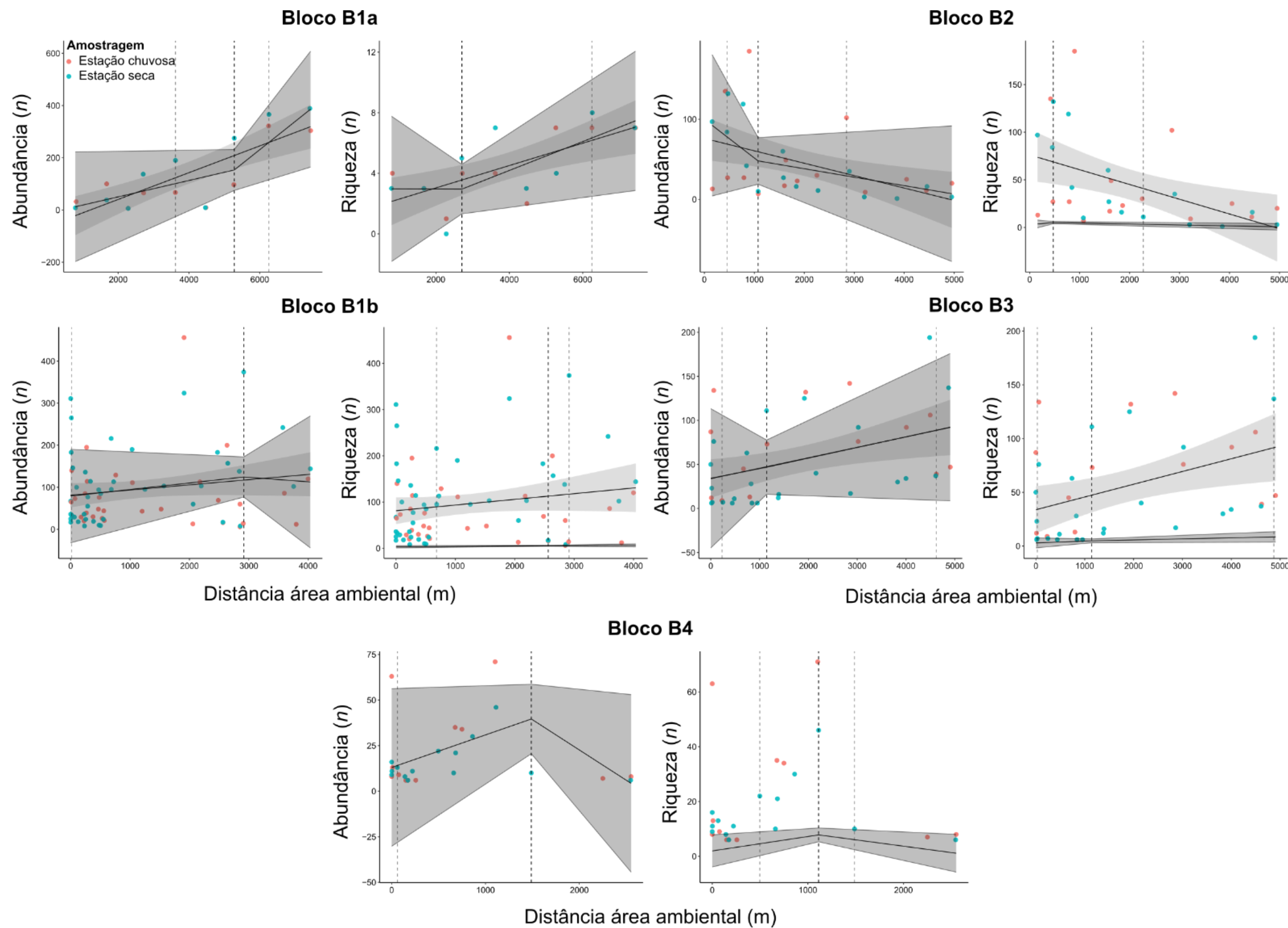


Figura 40. Relação entre a riqueza e abundância de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce, e pontos de inflexão calculados para os modelos segmentados, para os Blocos Amostrais 1a, BA1b, BA2, BA3 e BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

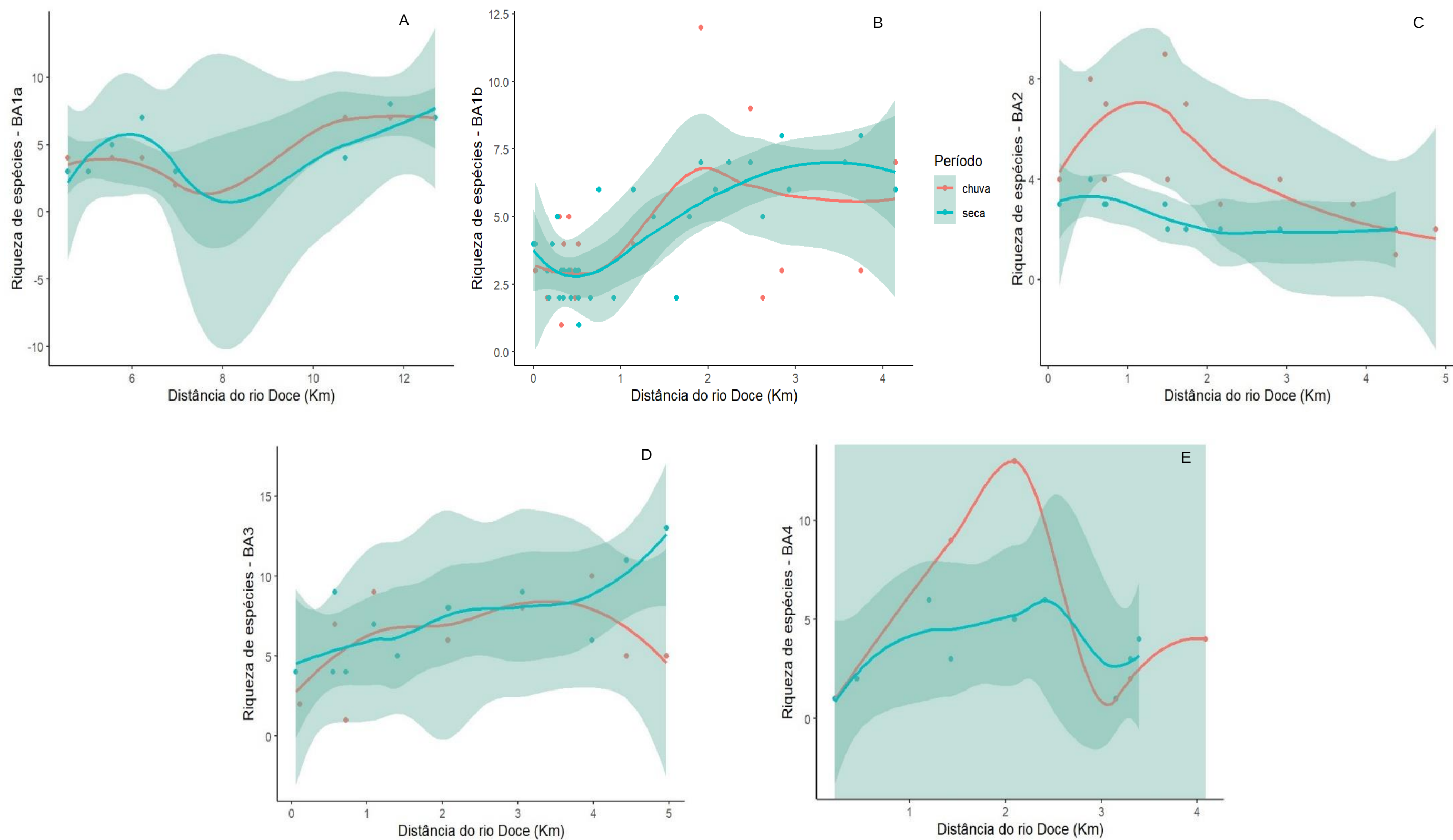


Figura 41. Relação entre a riqueza de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce para as *Parcelas Terrestres* dos Blocos Amostrais 1a (A), BA1b (B), BA2 (C), BA3 (D) e BA4 (E) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

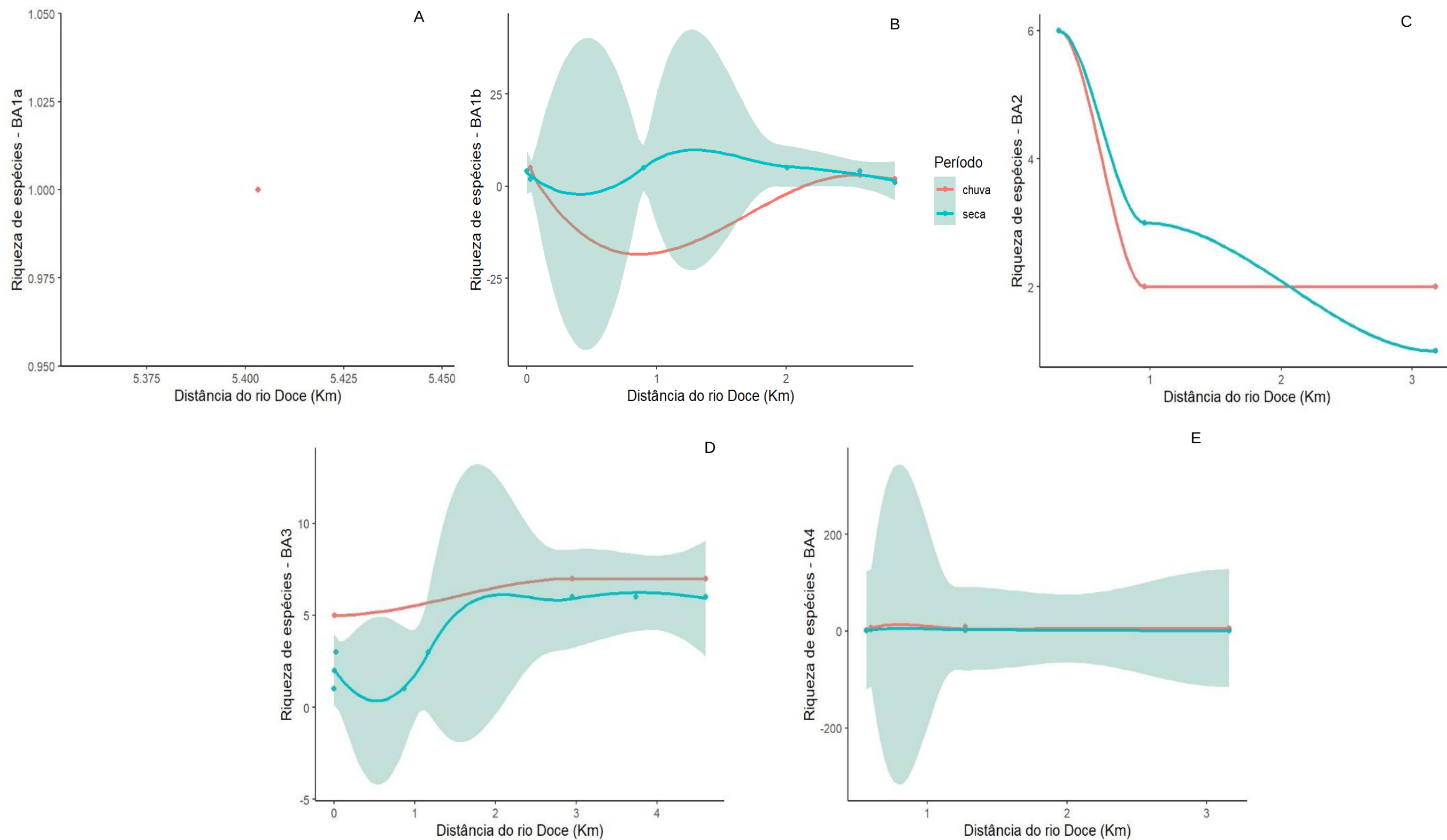


Figura 42. Relação entre a riqueza de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce para as *Parcelas Ripárias* dos Blocos Amostrais 1a (A), BA1b (B), BA2 (C), BA3 (D) e BA4 (E) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.4.4.2.1. Bloco Amostral 1a – Restinga, Vegetação Costeira

Foram coletados 2.387 indivíduos pertencentes a 14 espécies. Na estação seca, foram amostrados 1.398 indivíduos de 11 espécies, e na chuvosa 989 indivíduos de 14 espécies (**Quadro 50**). As curvas de acumulação de espécies baseadas no número de amostras e de indivíduos não atingiram a assíntota na abordagem ripária (**Figura 39, A-B**), mas atingiram na terrestre, mostrando que o esforço amostral nas *Parcelas Terrestres* foi mais adequado (**Figura 39, C-D**).

A riqueza de espécies mostrou uma relação significativa positiva com a distância do rio Doce na abordagem terrestre nas estações seca e chuvosa (seca: $p = 0,021$; *coef.* = 0,043; chuvas: $p = 0,028$; *coef.* = 0,041; **Figura 40**. Relação entre a riqueza e abundância de besouros Scarabaeidae e a distância do rio Doce, e pontos de inflexão calculados para os modelos segmentados, para os Blocos Amostrais 1a, BA1b, BA2, BA3 e BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.). Na abordagem ripária, não foi amostrado nenhum indivíduo na estação seca, e não houve relação significativa com a distância do rio Doce na estação chuvosa ($p = 0,207$; **Figura 41**).

As variáveis ambientais que afetaram a distribuição de dados da composição e abundância das espécies de besouros Scarabaeidae na abordagem terrestre, foram as distâncias [1] da barragem, [2] do rio Doce e [3] da UC mais próxima, bem como [4] as classes de uso do solo aquático e natural (**Figura 43, Quadro 51**). Para a abordagem ripária, não houve dados suficientes para serem analisados (**Figura 44, Quadro 51**).

3.2.4.4.2.2. Bloco Amostral 1b – Ombrófila densa costeira

Foram coletados 6.903 indivíduos pertencentes a 35 espécies (**Quadro 50**). Na estação seca, foram amostrados 4.491 indivíduos de 27 espécies, e na chuvosa 2.412 indivíduos de 25 espécies. As curvas de acumulação de espécies baseadas no número de amostras e de indivíduos não atingiram a assíntota em ambas as abordagens, ripária e terrestre (**Figura 39, A-D**). A riqueza de espécies mostrou uma relação significativa positiva com a distância do rio Doce na abordagem terrestre nas estações seca e chuvosa (seca: $p < 0,001$; *coef.* = 0,180; chuva: $p = 0,004$; *coef.* = 0,142; **Figura 40**). Não houve relação significativa com a distância do rio Doce na amostragem ripária (seca: $p = 0,817$; chuva: $p = 0,436$; **Figura 41**).

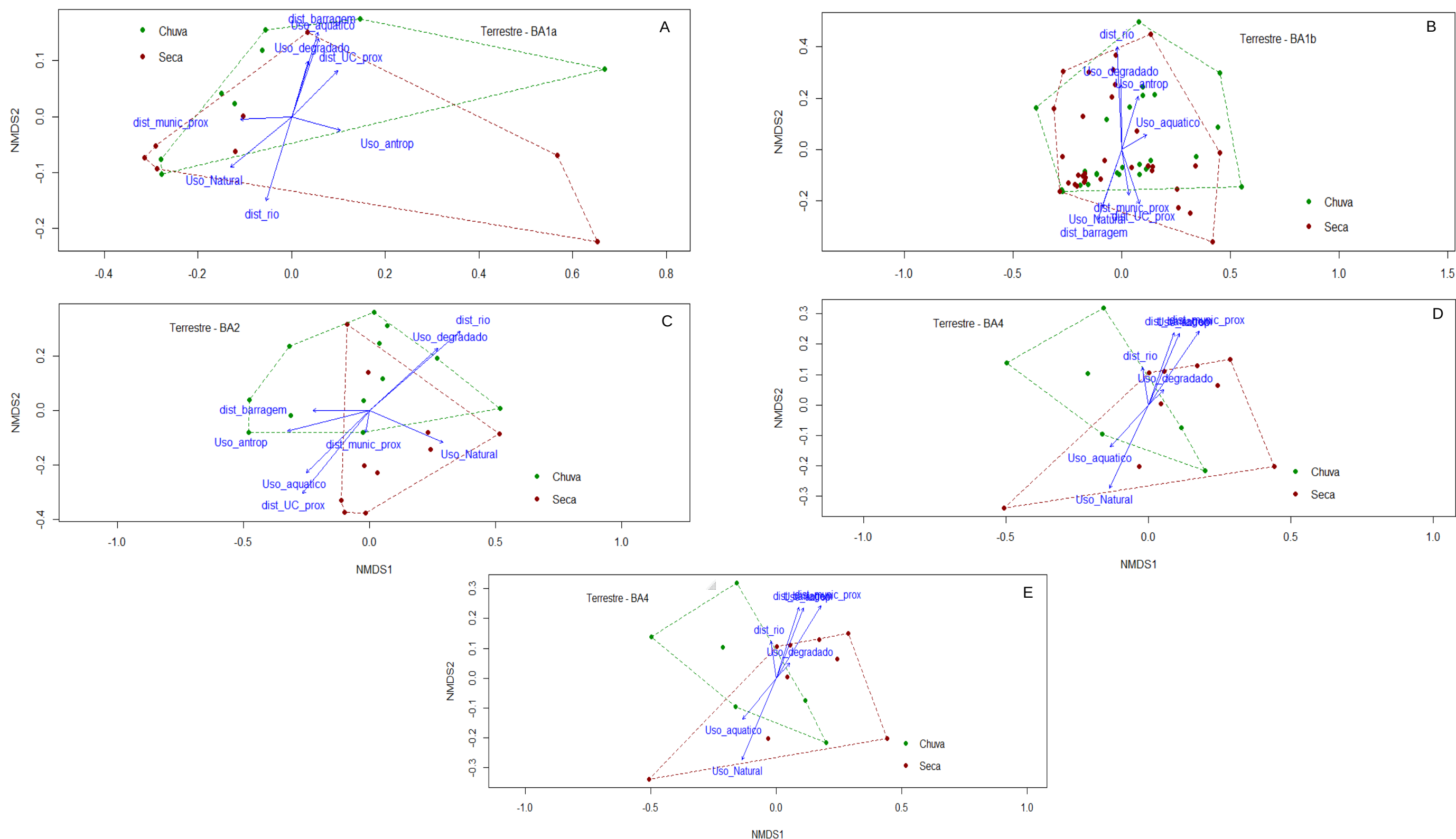


Figura 43. NMDS ('Non-metric multidimensional scaling') da relação entre a composição e abundância de espécies de besouros Scarabaeidae em função do uso do solo (antrópico, aquático, degradado e natural), distância do rio Doce, da barragem de Fundão, de centros urbanos mais próximos e de Unidades de Conservação da abordagem de *Parcelas Terrestres*, para os Blocos Amostrais 1a (A), BA1b (B), BA2 (C), BA3 (D) e BA4 (E) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

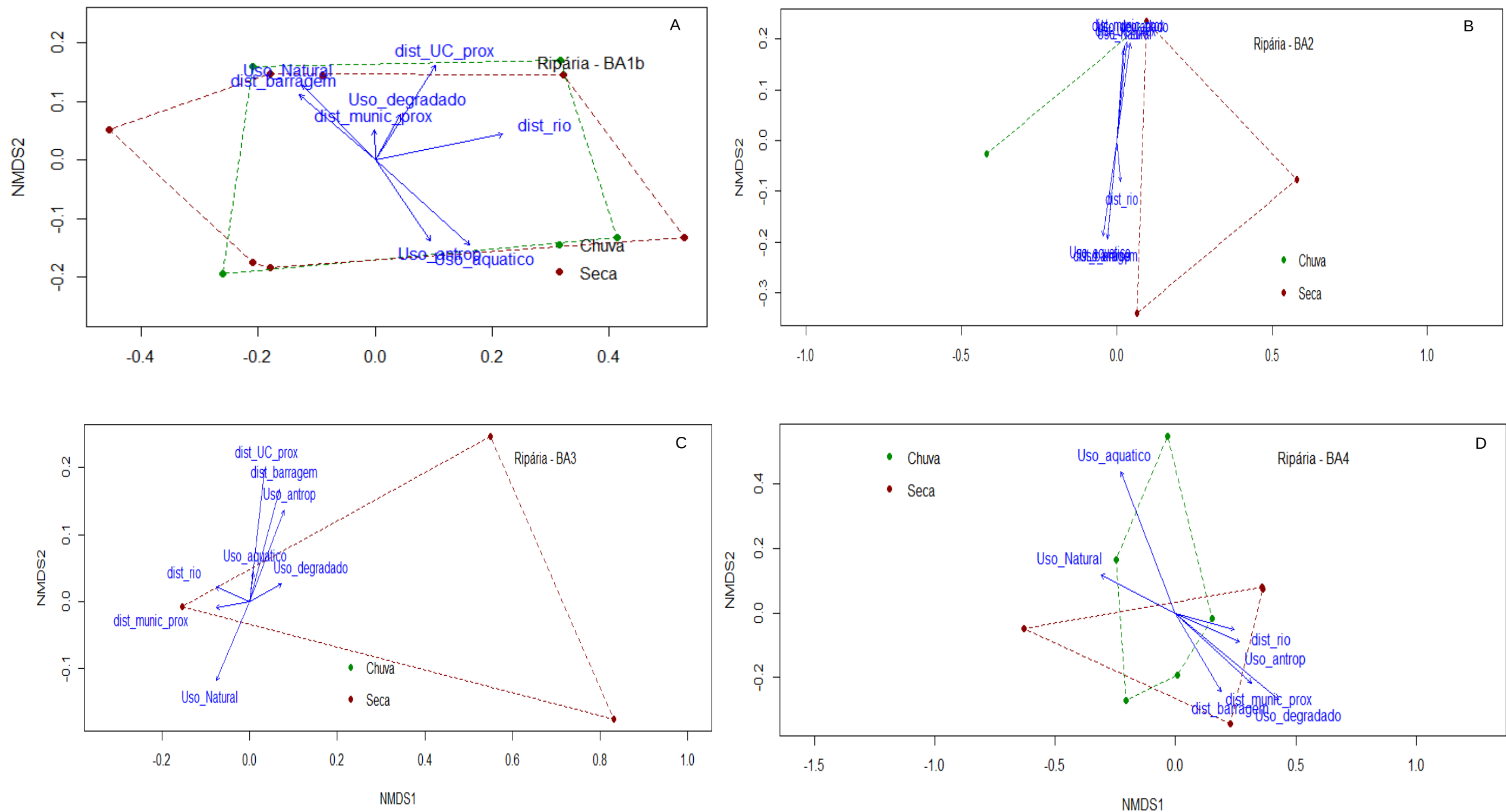


Figura 44. NMDS ('Non-metric multidimensional scaling') da relação entre a composição e abundância de espécies de besouros Scarabaeidae em função do uso do solo (antrópico, aquático, degradado e natural), distância do rio Doce, da barragem de Fundão, de centros urbanos mais próximos e de Unidades de Conservação da abordagem de *Parcelas Ripárias*, para os Blocos Amostrais 1b, BA2, BA3 e BA4 durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

As variáveis ambientais que afetam a distribuição de dados da composição e abundância das espécies de besouros Scarabaeidae na abordagem terrestre, foram as distâncias [1] do município mais próximo, [2] da barragem, [3] do rio e [4] da UC mais próxima, e [5] os usos do solo antrópico, degradado e natural (**Figura 43, Quadro 51**). Para a abordagem ripária, a composição e abundância foram influenciadas pelas distâncias [1] do rio e [2] da UC mais próxima, e [3] o uso do solo aquático, e tende a ser afetada pela distância [4] da barragem e [5] pelo uso do solo natural (**Figura 44, Quadro 51**).

Quadro 51. Estimativa da influência dos atributos ambientais sobre a ordenação de dados de composição e abundância das espécies de Scarabaeidae por BA e abordagens (*Parcelas Ripárias e Terrestres*) durante as duas campanhas do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores em vermelho são estatisticamente significativos, em laranja mostram tendências.

Variável	BA1a		BA1b		BA2		BA3		BA4	
	R ²	P	R ²	P	R ²	p	R ²	P	R ²	P
TERRESTRE										
Dist. Município	0,267	0,124	0,111	0,036	0,019	0,832	0,037	0,684	0,159	0,345
Dist. Barragem	0,577	0,004	0,294	0,001	0,142	0,228	0,028	0,758	0,114	0,509
Dist. Rio Doce	0,57	0,004	0,541	0,001	0,604	0,001	0,258	0,059	0,028	0,855
Dist. UC	0,359	0,05	0,176	0,007	0,462	0,002	0,121	0,251	0	1,000
Uso antrópico	0,252	0,157	0,162	0,006	0,315	0,032	0,184	0,144	0,118	0,474
Uso aquático	0,51	0,015	0,055	0,178	0,324	0,022	0,198	0,144	0,063	0,662
Uso degradado	0,242	0,133	0,218	0,002	0,35	0,013	0,234	0,078	0,009	0,935
Uso natural	0,557	0,008	0,199	0,002	0,276	0,05	0,225	0,084	0,164	0,33
RIPÁRIA										
Dist. Município	-	-	0,041	0,838	0,836	0,077	0,143	0,324	0,447	0,184
Dist. Barragem	-	-	0,461	0,081	0,826	0,077	0,818	0,041	0,292	0,334
Dist. Rio Doce	-	-	0,784	0,011	0,145	0,722	0,155	0,561	0,192	0,525
Dist. UC	-	-	0,582	0,023	0,75	0,133	1,000	0,192	0	1,000
Uso antrópico	-	-	0,44	0,094	0,823	0,077	0,611	0,04	0,24	0,434
Uso aquático	-	-	0,744	0,003	0,806	0,144	0,049	0,826	0,747	0,018
Uso degradado	-	-	0,125	0,584	0,838	0,1	0,145	0,785	0,779	0,011
Uso natural	-	-	0,509	0,054	0,697	0,177	0,49	0,04	0,332	0,294

Legenda: Dist. = distância, UC = Unidade de Conservação.

3.2.4.4.2.3. Bloco Amostral 2 – FESD

Foram coletados 1.255 indivíduos pertencentes a 19 espécies (**Quadro 50**). Na estação seca, foram amostrados 625 indivíduos de 9 espécies, e na chuvosa 630 indivíduos de 16 espécies. As curvas de acumulação de espécies baseadas no número de amostras e de indivíduos atingiram a assíntota na abordagem de *Parcelas Ripárias* (**Figura 39, A-B**), mas não na de *Parcelas Terrestres* (**Figura 39, C-D**).

A riqueza de espécies apresentou uma relação negativa, mas não significativa, com a distância do rio Doce nas *Parcelas Terrestres* na estação seca ($p = 0,080$; $\text{coef.} = -0,202$; **Figura 40**), indicando que a riqueza de espécies de Scarabaeidae poderia tender a diminuir com o aumento da distância do rio. Não foi encontrada relação significativa com a distância do rio Doce para essa abordagem durante a estação chuvosa ($p = 0,876$; **Figura 40**) e nem para as *Parcelas Ripárias* em ambas as estações (seca: $p = 0,232$; chuva: $p = 0,383$; **Figura 41**).

As variáveis ambientais que afetam a distribuição de dados da composição e abundância das espécies de besouros Scarabaeidae nas *Parcelas Terrestres*, foram as distâncias [1] do rio e [2] da UC mais próxima, e [3] os usos do solo antrópico, aquático, degradado e natural (**Figura 43, Quadro 51**). Nas *Parcelas Ripárias*, as distâncias [1] do município e [2] da barragem, e os usos do solo [3] antrópico e [4] degradado tendem a afetar a distribuição dos dados da composição e abundância das espécies de besouros (**Figura 44, Quadro 51**).

3.2.4.4.2.4. Bloco Amostral 3 – FESD

Foram coletados 2.014 indivíduos pertencentes a 36 espécies (**Quadro 50**). Na estação seca, foram amostrados 1.056 indivíduos de 22 espécies, e na chuvosa 958 indivíduos de 29 espécies. As curvas de acumulação de espécies baseadas no número de amostras e de indivíduos não atingiram a assíntota em ambas as abordagens, *Ripárias* e *Terrestres* (**Figura 39, A-D**), demonstrando que novas espécies podem vir a ser encontradas em futuras amostragens.

A riqueza de espécies respondeu positivamente à distância do rio Doce nas *Parcelas Terrestres* em ambas estações (seca: $p < 0,001$; $\text{coef.} = 0,253$; chuva: $p < 0,001$; $\text{coef.} = 0,159$; **Figura 40**), e nas *Parcelas Ripárias* na estação chuvosa ($p = 0,026$; $\text{coef.} = 0,167$). Não houve relação significativa para as *Parcelas Ripárias* na estação seca ($p = 0,232$; **Figura 41**).

As variáveis ambientais [1] distância do rio e os usos do solo [2] degradado e [3] natural tendem a afetar a distribuição de dados da composição e abundância das espécies de besouros Scarabaeidae nas *Parcelas Terrestres* (**Figura 43, Quadro 51**). Nas *Parcelas Ripárias*, a distância [1] da barragem e os usos do solo [2] antrópico e [3] natural afetam a distribuição dos dados (**Figura 44, Quadro 51**).

3.2.4.4.2.5. Bloco Amostral 4 – FESD

Foram coletados 390 indivíduos pertencentes a 33 espécies (**Quadro 50**). Na estação seca, foram amostrados 164 indivíduos de 19 espécies, e na chuvosa 226 indivíduos de 28 espécies. As curvas de acumulação de espécies baseadas no número de amostras e de indivíduos não atingiram a assíntota em ambas as abordagens, *Ripárias* e *Terrestres* (**Figura 39, A-D**). Não foi encontrada relação entre a riqueza de espécies e a distância do rio Doce em nenhuma estação e abordagem (*Terrestres*: seca: $p = 0,998$; chuva: $p = 0,276$; *Ripárias*: seca: $p = 0,137$; chuva: $p = 0,122$; **Figura 40, Figura 40, Figura 41**).

Nenhuma variável ambiental influenciou a distribuição de dados da composição e abundância das espécies de besouros Scarabaeidae nas *Parcelas Terrestres* (**Figura 43, Quadro 51**). Nas *Parcelas Ripárias*, [1] os usos do solo aquático e [2] degradado afetam a distribuição dos dados (**Figura 44, Quadro 51**).

3.2.4.4.3. Táxons de interesse para a conservação

A busca por informações em relatórios técnicos, planos de manejo, e listas de espécies ameaçadas resultou em duas espécies de Scarabaeidae com diferentes níveis de ameaça à extinção (**Quadro 52**).

Dichotomius schiffleri Vaz-de-Mello, Louzada & Gavino, 2011 talvez seja uma das espécies de maior prioridade para a conservação. Identificada como ameaçada na lista vermelha de espécies da IUCN (VAZ-DE-MELLO et al., 2013a) e criticamente em perigo no Brasil e no Espírito Santo (**Quadro 52**), trata-se de uma espécie geralmente associada às áreas de restinga e de Mata Atlântica de baixada e/ou seus fragmentos (VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008). Suas principais ameaças estão relacionadas à degradação do seu habitat natural, por distúrbios como o fogo, desenvolvimento urbano nas áreas de praia, e conversão de áreas naturais para pastagens (VAZ-DE-MELLO et al., 2013a; VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008). Nesse relatório, foram amostrados 163 indivíduos no BA1a, sendo 92 amostrados na estação seca (1P1T = 14; 1P2T = 1;

2P1T = 37; 3P1T = 36; 3P2T = 2; e 4P2T = 2), e 71 na estação chuvosa (1P1T = 22; 1P2T = 2; 2P1T = 41; 3P1T = 6). Além disso, foi observada a ocorrência de *D. schiffleri* em locais próximos da **Área de Estudo**.

Quadro 52. Status de conservação de besouros Scarabaeidae registrados para os municípios da **BHRD**, parte do estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Espécie	BR	MG	ES	SG
<i>Ateuchus squalidus</i> (Fabricius, 1775)	VU	-	-	VU
<i>Dichotomius schiffleri</i> Vaz-de-Mello, Louzada & Gavino, 2011	CR	-	CR	-
<i>Megasoma anubis</i> Chevrolat 1836			CR	
<i>Megasoma gyas</i> (Herbst, 1785)			EN	

Status de ameaça Brasil – BR (ICMBIO/MMA, 2018b), Minas Gerais – MG (COPAM, 2010), Espírito Santo – ES (PASSAMANI; MENDES, 2007). Status global – SG (IUCN, 2019). Categorias de ameaça: VU – Vulnerável, CR – Criticamente Ameaçada.

Ateuchus squalidus (Fabricius, 1775), embora não coletada através das amostragens para esse relatório, é uma espécie bastante encontrada na região do estudo em áreas de restinga (LOUZADA; SCHIFFLER; VAZ-DE-MELLO, 1996; SCHIFFLER; Z. VAZ-DE-MELLO; AZEVEDO, 2003), e considerada Vulnerável (B2ab[ii, iii]) pela IUCN – devido ao desenvolvimento residencial e comercial, bem como a degradação ambiental e substituição da vegetação por monoculturas e pastagens (VAZ-DE-MELLO et al., 2013b).

3.2.4.4.1. Metais pesados

Não conhecemos estudos e bioensaios que determinem níveis de contaminação e toxicidade de metais pesados para besouros escarabeídeos. Por isso, usamos com valores de referência medidas conservadoras de organismos que são consumidos direta ou indiretamente pelas populações humanas. A avaliação dos metais pesados presentes nos tecidos de besouros da escarabeofauna revelou que as concentrações de cádmio, mercúrio e zinco estavam acima dos valores de referência encontrados na literatura. De forma geral, todos os BAs apresentaram besouros com aproximadamente o dobro da concentração de cádmio apresentada como valor crítico de referência estabelecido pela Organização Mundial da Saúde para a vegetação (WORLD HEALTH

ORGANISATION, 1996, *apud* OGUNDELE; ADIO; OLUDELE, 2015) (**Quadro 53**). Todos os BAs apresentaram besouros com concentrações de mercúrio acima do valor crítico de referência para a fauna de solo presente na literatura (DE VRIES; RÖMKENS; SCHÜTZE, 2007). Os menores valores de concentração de mercúrio observados nos tecidos da escarabeofauna variaram entre 0,037 mg*kg⁻¹ (BA3) e 0,05 mg*kg⁻¹ (BA1a, BA2 e BA4). Os maiores valores de concentração desse metal foram observados no BA4 (máx. = 0,211 mg*kg⁻¹ ou 7x maior que o valor crítico para a fauna [VCF]), BA1b (máx. = 0,205 mg*kg⁻¹; 6,8x maior que VCF) e BA3 (máx. = 0,13 mg*kg⁻¹; 4,3x maior que VCF; **Quadro 53**). O menor valor mínimo de zinco foi observado no BA1b (mín. = 14,6 mg*kg⁻¹), representando cerca de 24,3x acima valor crítico de referência estabelecido pela Organização Mundial da Saúde para a vegetação (WORLD HEALTH ORGANISATION, 1996, *apud* OGUNDELE; ADIO; OLUDELE, 2015). As maiores concentrações de zinco foram observadas no BA3 (máx. = 48,3 mg*kg⁻¹) e BA1a (máx. = 42,3 mg*kg⁻¹), onde os besouros apresentaram concentrações ca. 80,5 e 70,5x acima do valor crítico (**Quadro 53**).

Embora os valores estejam acima dos valores de referência para os organismos estudados, ao avaliarmos a relação entre as concentrações nas amostras e a distância do rio Doce, é notável que não há relação para nenhum dos três metais analisados (**Figura 45**).

Quadro 53. Resumo descritivo das análises de concentrações de metais pesados nos tecidos de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae), analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES. Valores observados (Vo) acima do valor de referência são destacados em negrito e vermelho.

Bloco Amostral	Metal	Valor de referência (mg*kg ⁻¹)	Mín. (mg*kg ⁻¹)	Média (mg*kg ⁻¹)	Máx. (mg*kg ⁻¹)
BA1a	Arsênio	-	0,05	0,43	2,13
	Cádmio	0,02*	0,05	0,05	0,05
	Chumbo	2*	0,05	0,10	0,262
	Cobre	10*	4,77	7,23	9,88
	Cromo	-	0,05	0,05	0,05
	Ferro	-	0,05	88,93	460
	Manganês	-	7,94	14,14	24,9
	Mercúrio	0,03**	0,05	0,06	0,0839
	Zinco		16,60	29,65	42,5
BA1b	Arsênio	-	0,05	0,52	2,4
	Cádmio	0,02*	0,04	0,05	0,05

Bloco Amostral	Metal	Valor de referência (mg*kg ⁻¹)	Mín. (mg*kg ⁻¹)	Média (mg*kg ⁻¹)	Máx. (mg*kg ⁻¹)
	Chumbo	2*	0,05	0,18	1,11
	Cobre	10*	4,49	6,51	10,2
	Cromo	-	0,04	0,05	0,05
	Ferro	-	0,05	214,95	2210
	Manganês	-	3,1	13,07	39,4
	Mercurio	0,03**	0,04	0,06	0,205
	Zinco		14,6	24,82	34,5
	Arsênio	-	0,05	0,58	1,1
BA2	Cádmio	0,02*	0,05	0,05	0,05
	Chumbo	2*	0,0579	0,14	0,213
	Cobre	10*	5,93	7,96	9,98
	Cromo	-	0,05	0,05	0,05
	Ferro	-	22,3	78,15	134
	Manganês	-	10,9	13,05	15,2
	Mercurio	0,03**	0,05	0,05	0,05
	Zinco		21,4	27,10	32,8
BA3	Arsênio	-	0,05	0,45	3,22
	Cádmio	0,02*	0,031	0,05	0,06
	Chumbo	2*	0,05	0,12	0,244
	Cobre	10*	5,18	6,98	10,9
	Cromo	-	0,031	0,05	0,06
	Ferro	-	0,05	95,28	350
	Manganês	-	7,26	14,10	32,9
	Mercurio	0,03**	0,037	0,06	0,137
BA4	Zinco		22,2	29,72	48,3
	Arsênio	-	0,05	0,10	0,169
	Cádmio	0,02*	0,05	0,05	0,05
	Chumbo	2*	0,0646	0,10	0,16
	Cobre	10*	5,42	6,01	6,66
	Cromo	-	0,05	0,05	0,05
	Ferro	-	44,7	95,70	195
	Manganês	-	8,38	12,46	16
	Mercurio	0,03**	0,05	0,10	0,211
	Zinco		18,5	22,63	26,8

Valores de referência baseados em *(DE VRIES; RÖMKENS; SCHÜTZE, 2007), **(WORLD HEALTH ORGANISATION, 1996) *apud* OGUNDELE et al. (OGUNDELE; ADIO; OLUDELE, 2015).

Quadro 54. Concentrações de metais pesados ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), por amostra, nos tecidos de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae), analisados por espectroscopia de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025452	BA1a	2T	0,08	0,05	0,09	6,99	0,05	44,50	14,20	0,06	30,30
8025453	BA1b	12T	0,05	0,05	0,05	6,21	0,05	10,20	12,10	0,21	34,50
8025454	BA4	23T	0,09	0,05	0,08	6,66	0,05	47,40	13,00	0,05	26,80
8025455	BA1a	2T	0,05	0,05	0,05	4,77	0,05	13,10	8,69	0,05	16,60
8025456	BA1b	10T	0,05	0,05	0,05	4,87	0,05	0,05	10,60	0,11	20,30
8025457	BA1b	10T	0,12	0,05	0,06	7,71	0,05	25,80	10,40	0,05	28,80
8025458	BA1b	11T	0,92	0,05	0,05	5,20	0,05	13,70	7,38	0,05	22,80
8025459	BA1b	12T	0,27	0,05	0,06	9,13	0,05	12,00	10,80	0,06	32,20
8025460	BA1b	12T	0,20	0,05	0,18	5,26	0,05	123,00	9,14	0,05	14,80
8025462	BA3	17T	0,79	0,05	0,24	5,18	0,05	32,90	7,65	0,05	24,50
8025463	BA4	22T	0,17	0,05	0,16	5,42	0,05	44,70	16,00	0,21	22,60
8025464	BA1b	7T	0,44	0,05	0,18	5,65	0,05	115,00	10,00	0,05	24,10
8025466	BA1b	7T	0,07	0,05	0,14	5,62	0,05	28,00	4,79	0,12	22,60
8025467	BA1b	11T	0,98	0,05	0,06	5,53	0,05	41,90	7,99	0,05	21,40
8025468	BA1b	10T	0,17	0,05	0,22	4,88	0,05	209,00	12,50	0,05	21,50
8025469	BA1b	10T	0,05	0,05	0,12	5,03	0,05	9,96	4,31	0,05	17,50
8025470	BA4	23T	0,05	0,05	0,06	5,96	0,05	195,00	8,38	0,05	18,50
8025471	BA1a	2T	0,27	0,05	0,08	6,68	0,05	55,70	14,90	0,06	21,40
8025474	BA3	18TB	0,08	0,05	0,11	6,37	0,05	79,80	9,85	0,05	31,70
8025481	BA1a	1IF	0,23	0,05	0,18	5,17	0,05	115,00	7,94	0,05	26,00
8025482	BA3	20T	0,06	0,05	0,05	6,00	0,05	15,50	10,90	0,05	29,40
8025485	BA3	18TA	0,05	0,05	0,05	6,79	0,05	123,00	14,50	0,06	33,60

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025486	BA1b	8T	0,05	0,05	0,24	6,90	0,05	202,00	18,60	0,05	25,30
8025487	BA1b	4T	1,16	0,05	0,22	5,97	0,05	270,00	30,00	0,05	27,40
8025488	BA1a	1T	0,20	0,05	0,05	7,55	0,05	0,05	14,60	0,08	39,20
8025489	BA3	20T	0,05	0,05	0,09	5,76	0,05	52,40	14,80	0,05	22,20
8025490	BA1b	8T	0,05	0,05	0,13	5,57	0,05	74,50	15,20	0,06	19,90
8025491	BA1b	8T	0,09	0,05	0,25	6,59	0,05	458,00	25,90	0,05	29,30
8025553	BA1b	4TC	1,40	0,04	0,32	6,83	0,04	482,00	25,90	0,04	25,60
8025565	BA3	20T	0,05	0,05	0,08	5,32	0,05	2,10	10,10	0,05	25,40
8025648	BA3	18TB	0,05	0,05	0,05	5,81	0,05	0,05	7,26	0,05	24,30
8025653	BA1b	4T	0,17	0,05	0,84	6,29	0,05	1330,00	35,20	0,07	27,80
8025760	BA1b	8T	0,05	0,05	0,10	4,90	0,05	65,00	9,89	0,05	22,00
8025761	BA3	18TA	0,06	0,05	0,06	6,85	0,05	350,00	10,60	0,14	31,40
8025762	BA2	15TB	1,10	0,05	0,21	9,98	0,05	134,00	15,20	0,05	32,80
8025763	BA1b	6T	0,33	0,05	0,14	4,49	0,05	103,00	7,62	0,05	16,10
8025767	BA3	20T	0,05	0,05	0,15	6,65	0,05	179,00	21,50	0,05	27,60
8025770	BA3	18TB	0,19	0,04	0,13	10,00	0,04	68,00	16,90	0,04	40,20
8025774	BA3	20T	0,05	0,05	0,21	5,95	0,05	154,00	11,60	0,05	23,80
8025776	BA3	9I	3,22	0,05	0,10	7,74	0,05	55,20	13,60	0,06	25,60
8025778	BA1a	2IF	2,13	0,05	0,26	8,38	0,05	460,00	24,90	0,05	34,30
8025780	BA1b	5T	1,16	0,05	0,28	6,53	0,05	329,00	14,30	0,05	20,10
8025782	BA1b	5T	0,89	0,05	1,11	8,22	0,05	2210,00	39,40	0,05	31,50
8025784	BA1b	11T	0,64	0,05	0,09	4,92	0,05	83,50	5,13	0,05	14,60
8025790	BA1b	4TA	0,05	0,05	0,06	5,58	0,05	23,60	5,47	0,08	22,90
8025810	BA2	13T	0,05	0,05	0,06	5,93	0,05	22,30	10,90	0,05	21,40
8025812	BA3	PERD	1,07	0,06	0,14	9,41	0,06	61,40	14,20	0,06	34,90
8025813	BA1b	4TA	0,05	0,05	0,07	6,89	0,05	0,05	3,10	0,05	27,30

Código da Amostra	Bloco Amostral	Módulo	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercúrio	Zinco
8025817	BA1b	4TD	0,34	0,05	0,05	9,37	0,05	29,30	6,29	0,05	19,80
8025821	BA1b	6T	2,31	0,05	0,05	9,20	0,05	22,10	12,70	0,07	33,90
8025826	BA1b	8T	0,05	0,05	0,07	4,95	0,05	42,20	6,59	0,07	22,00
8025828	BA1b	4T	0,44	0,05	0,27	7,59	0,05	256,00	12,90	0,05	31,80
8025831	BA1b	8T	0,05	0,05	0,09	7,17	0,05	85,00	13,20	0,05	28,80
8025839	BA1a	1T	0,37	0,05	0,05	8,41	0,05	0,05	17,30	0,06	42,50
8025841	BA3	20T	0,05	0,05	0,10	5,91	0,05	40,90	15,20	0,05	22,90
8025845	BA3	PERD	0,87	0,03	0,22	10,90	0,03	215,00	32,90	0,05	48,30
8025854	BA1b	4TB	1,06	0,05	0,23	7,98	0,05	137,00	9,76	0,05	31,60
8025855	BA1a	1T	0,12	0,05	0,05	9,88	0,05	23,00	10,60	0,05	26,90
8026166	BA1b	6T	2,40	0,05	0,11	6,92	0,05	111,00	13,50	0,05	30,60
8026167	BA1b	6T	1,02	0,05	0,25	6,78	0,05	395,00	22,10	0,05	25,00
8026168	BA1b	6T	0,41	0,05	0,05	10,20	0,05	11,40	7,74	0,07	29,40
8026169	BA1b	7T	0,35	0,05	0,05	6,34	0,05	0,05	4,03	0,05	20,70

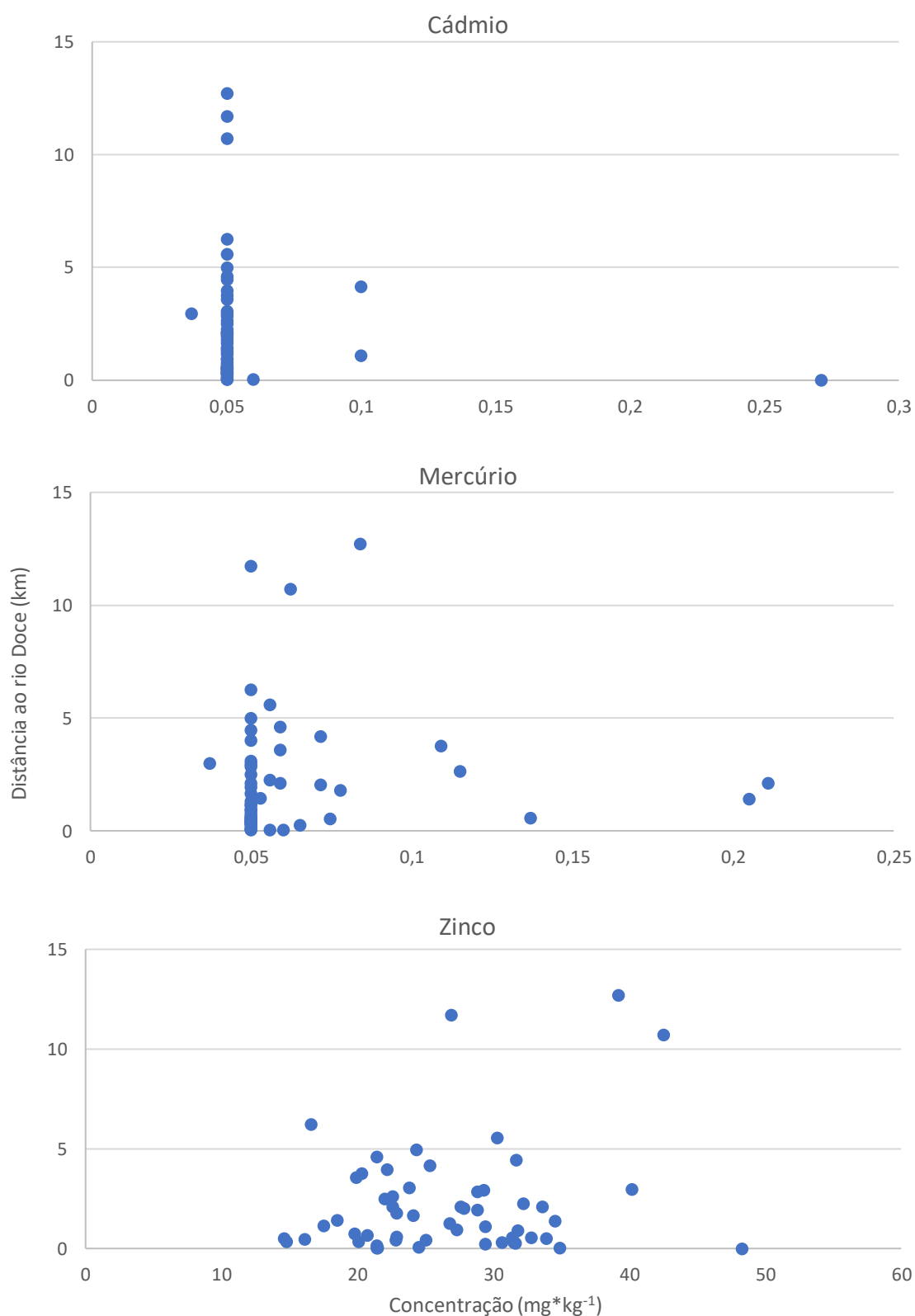


Figura 45. Relação entre a distância do rio Doce e concentração dos metais pesados acima dos níveis de referência para os besouros coletados durante o estudo de Avaliação Ecológica Rápida da Fauna e Flora Terrestre na Bacia do Rio Doce, MG/ES.

3.2.4.5. Conclusões e recomendações

Este relatório avaliou os impactos do desastre ambiental decorrente do rompimento da barragem de Mariana sobre a comunidade de besouros Scarabaeidae. Os resultados demonstram que a diversidade de espécies amostradas na região do estudo foi três vezes maior do que o esperado, com base 21 espécies encontradas na escassa literatura e levantamentos da fauna de besouros no Delta do Rio Doce e vale Suruaca (SCHIFFLER; Z. VAZ-DE-MELLO; AZEVEDO, 2003), e na Ilha de Guriri (LOUZADA; SCHIFFLER; VAZ-DE-MELLO, 1996; VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008) – todos no Espírito Santo (**Quadro 50** e **Quadro 51**). Esse resultado pode ser uma consequência da maior abrangência espacial do levantamento de besouros realizado para esse relatório, que envolveu uma ampla heterogeneidade ambiental, bem como áreas de coleta em Minas Gerais e no Espírito Santo (**Volume I, Mapa 7**). Além disso, das 73 espécies de besouros escarabeídeos amostradas nesse estudo, apenas 16 já haviam sido registradas em municípios da **BHRD**, segundo levantamento de dados realizado através da base [SpeciesLink](#) e dados da literatura (**Quadro 49**), e destas, registramos apenas 6 durante as coletas nas duas campanhas já realizadas. O elevado número de espécies registrados pela primeira vez na região indica que há pouco conhecimento da escarabeidofauna da bacia do rio Doce, enfatizando a necessidade de futuros esforços para conhecer e conservar esse grupo.

Uma vez que as curvas de acumulação de espécies não atingiram a assíntota na maioria dos Blocos Amostrais nas *Parcelas Terrestres* e *Ripárias* (**Figura 39**), espera-se que mais espécies possam ser encontradas com o aumento do esforço amostral em futuras amostragens. A ausência de diferenças significativas na riqueza de espécies e composição de espécies de besouros entre as campanhas (**Quadro 50**), mostra que futuros esforços poderiam ser concentrados em apenas uma estação – preferencialmente a chuvosa, quando mais espécies foram amostradas. Nossos resultados iniciais também apontam que a riqueza e abundância de Scarabaeidae tendem a aumentar com a distância em relação ao rio Doce (**Quadro 55**). Além disso, os resultados mostram uma forte tendência em haver relação entre a composição e abundância de espécies de besouros em função do uso do solo (**Quadro 55**), da distância da barragem de Fundão e das Unidades de Conservação.

Quadro 55. Resumo quantitativo das distâncias em relação ao rio Doce e variáveis de uso e cobertura do solo de influência para besouros Scarabaeidae durante as campanhas do estudo de Avaliação de Impactos Ambientais e Monitoramento da Fauna e Flora Terrestres nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Abordagem / Bloco amostral	BA4	BA3	BA2	BA1b	BA1a
Distância do rio Doce (m)					
<i>Parcelas Ripárias</i>	-	1000	-	-	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	1500	-	1000	6500
Uso e cobertura do solo – Composição de espécies					
<i>Parcelas Ripárias</i>	Aquático e degradado	Antrópico e natural	Antrópico e degradado	Antrópico, aquático e natural	-
<i>Parcelas Terrestres</i>	-	Degradado e natural	Todos	Antrópico, degradado e natural	Aquático e natural

Diversos são os fatores que poderiam explicar os padrões observados em relação às diferenças na riqueza, abundância e composição de espécies, mas de maneira geral a literatura demonstra que as comunidades de Scarabaeidae são direcionadas por duas forças principais e que podem atuar de maneira sinérgica: (1) mudanças na estrutura ambiental e (2) disponibilidade de recursos alimentares e para nidificação.

(1) Estrutura ambiental: A heterogeneidade ambiental é um dos principais fatores determinantes da estrutura de comunidades biológicas (OLIVER et al., 2010; YANG et al., 2015). Nesse sentido, fatores como a quantidade de cobertura vegetal, serapilheira e estrutura do solo (e.g., quantidade de areia e argila) podem influenciar diretamente as comunidades de escarabeídeos e, conseqüentemente, suas funções ecológicas (COSTA et al., 2017; FRANÇA; LOUZADA; BARLOW, 2018). Além disso, os besouros Scarabaeidae são sensíveis às mudanças ambientais, e diversos estudos evidenciam que os impactos das atividades humanas na estrutura da vegetação e do solo resultam em mudanças na composição, e perdas na diversidade e biomassa das comunidades de besouros (FRANÇA et al., 2016a, 2017). A ocorrência de diversas espécies de besouros Scarabaeidae está também associada ao tipo de solo. Por exemplo, a granulometria do solo pode afetar diretamente a estrutura das comunidades de besouros, e declínios na riqueza de algumas guildas funcionais foram observados em consequência da compactação do solo causada por elevados teores de argila (SILVA; HERNÁNDEZ, 2015). Dessa forma, os impactos ambientais causados pelo rompimento da barragem sobre a vegetação e solo podem direcionar perdas de diversidade. Esses

impactos poderiam ser divididos em duas escalas temporais: [i] imediate e em [ii] longo prazo.

[i] Os Scarabaeidae, de maneira geral nidificam nos recursos depositados na superfície do solo, ou em túneis e galerias que eles escavam para nidificação (HANSKI; CAMBEFORT, 1991). Desta forma, é possível que os teores de metais pesados, como Alumínio, Arsênio, Bário, Mercúrio, Chumbo e Cobre – que, em geral, foram maiores nas *Parcelas Terrestres* mais próximas ao Rio Doce (**Volume I, Figuras 4-6, 9, 11 e 18**), poderiam estar relacionados inversamente a tendência no aumento da riqueza e abundância de besouros em relação à distância do rio e da barragem (**Figura 40**, Bloco 1a, BA1b e BA3). É bem provável também que as concentrações dos metais pesados Cádmio, Mercúrio e Zinco que foram acima dos valores críticos previamente estabelecidos na literatura (**Quadro 53**) estejam relacionados aos teores desses metais pesados presentes no solo (**Volume I, Capítulo 8**).

Há estudos demonstrando que houve acúmulo de rejeitos nas áreas próximas às várzeas do rio Doce atingiu espessuras médias de > 50 cm (CARMO et al., 2017) até 2 m, nas áreas mais afetadas (FELIPPE et al., 2016). Esse impacto imediato nas comunidades acompanha área de ecossistemas terrestres que foram suprimidos pela onda de rejeitos (CARMO et al., 2017; GOLDER ASSOCIATES, 2016) e pode se expandir até as áreas em que os teores de metais pesados forem acima dos valores mínimos para a sobrevivência dos organismos. Em particular, as altas concentrações de alguns metais pesados dos tecidos dos besouros escarabeíneos (**Quadro 53**) é sinal que esses organismos podem estar sendo afetados pela contaminação do solo. A exposição crônica aos metais pesados como o Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Cobre (Cu) e Cádmio (Cd) pode afetar a morfologia (BRAUN; JONES; PERNER, 2004), longevidade (CICHÓN; KOZŁOWSKI, 2000) e a fertilidade e reprodução dos organismos vivos diretamente associados ao solo (LASKOWSKI; HOPKIN, 1996). Estudos com besouros também demonstram que a exposição desses organismos à solos contaminados resultou em organismos de menor tamanho corporal (SOWA; SKALSKI, 2019).

É válido ressaltar que os maiores impactos nos ecossistemas terrestres aconteceram nas proximidades da barragem, onde cerca de 90% dos habitats ripários dos rios Fundão, Gualaxo do Norte e Carmelo foram perdidos (FERNANDES et al., 2016) – incluindo 870 ha de áreas protegidas (APPs) e 298 ha de floresta semidecídua em 135 fragmentos nas margens desses tributários (CARMO et al., 2017). Recomendamos, portanto, que haja foco na restauração e recuperação do solo e da cobertura vegetal

nas proximidades da barragem de Fundão como essencial para a mitigação das possíveis consequências ecológicas diretas e indiretas às comunidades de besouros.

[ii] Em longo prazo, por exemplo, LENNOX et al. (2018) encontrou que as diferenças no acúmulo de biomassa vegetal, e na riqueza e composição das comunidades de besouros, aves e plantas entre florestas primárias e secundárias eram significativas mesmo após 40 anos de recuperação. Estudos também demonstram que a fragmentação resultante da perda de habitat, e a degradação florestal atuam como estressores da fauna que afetam desigualmente as diferentes espécies (FRANÇA et al., 2016b; MASTROMONACO; GUNN; EDWARDS, 2014; SUORSA et al., 2003). Dessa forma, no caso do rompimento da barragem em questão, as mudanças na vegetação e no solo (descritas anteriormente), bem como a variação natural em características ambientais entre as parcelas amostradas, poderiam estar atuando como direcionadores das comunidades de besouros Scarabaeidae em escala temporal ampla.

Um fator de estresse subletal (que não mata mas reduz o *fitness* – ou valor adaptativo dos indivíduos) que poderia explicar as relações positivas encontradas entre as respostas dos besouros e a distância do rio Doce seria o acúmulo de metais na cadeia alimentar – que se espera ser maior nas áreas mais próximas ao rio. Um estudo realizado 75 dias após o rompimento da barragem e ao longo da **Área Afetada**, desde o Gualaxo do Norte até o Atlântico, verificou que os teores de Ferro, Arsênio, Mercúrio e Manganês na água excederam os valores recomendados em vários pontos de coleta (HATJE et al., 2017). Outro estudo encontrou que os níveis de Arsênio e Manganês em algumas regiões afetadas pelos resíduos estavam dentro de valores naturalmente presentes na região do Quadrilátero Ferrífero (DE SOUZA et al., 2015; GUERRA et al., 2017) – informação também encontrada através desse relatório, que demonstrou que as concentrações de metais no solo diminuíram com o aumento da distância do Rio (**Volume I, Figuras 4-6, 9, 11 e 18**). Espera-se que os besouros, especialmente os rola-bosta (Scarabaeinae), sejam propensos a sofrer com a bioacumulação de metais pois suas larvas se desenvolvem no solo, enquanto os adultos se alimentam das fezes e carcaças de vertebrados (HANSKI; CAMBEFORT, 1991). Estudos anteriores demonstraram que o teor de metais pesados em invertebrados terrestres é correlacionado com as concentrações de metal presente no solo, enquanto Zhou et al. (2016) demonstraram que os besouros escarabeíneos podem apresentar concentrações de Mercúrio entre 40 e 283 vezes maior que outros insetos herbívoros.

(2) Disponibilidades de recursos: Um dos fatores que poderiam também explicar os padrões observados seria o aumento na competição por recursos alimentares escassos (HORGAN; FUENTES, 2005). O rompimento da barragem de Fundão provavelmente influenciou tanto a disponibilidade (e.g., a riqueza de mamíferos de médio e grande porte também aumentaram com a distância do Rio nas *Parcelas Ripárias* e *Parcelas Terrestres* dos BA2 e BA3, respectivamente, durante a estação chuvosa; **Volume III, Tabelas 12 e 13**) quanto a qualidade dos recursos alimentares como fezes e carcaças. Mudanças na qualidade dos recursos fecais e carcaças seriam resultantes tanto do dessecamento rápido, por causa das novas condições microclimáticas principalmente nas áreas em que a estrutura da vegetação foi afetada, quanto por fatores relacionados ao acúmulo de metais pesados ao longo da cadeia trófica (HEIKENS; PEIJNENBURG; HENDRIKS, 2001; ZHOU et al., 2016). Espera-se que essas perdas, quantitativas e qualitativas, nos recursos fecais sejam menores nas unidades de conservação, devido ao grande potencial de conservação dessas áreas - podendo apresentar uma maior diversidade de vertebrados (fonte de recursos; LOPOUKHINE et al., 2012) e heterogeneidade ambiental (DRONOVA, 2017), fatores que poderiam explicar a importância da distância das UCs na variabilidade da riqueza e abundância de besouros.

(3) Recomendações: Tão importante quanto compreender as consequências ecológicas do rompimento da barragem de Fundão e os diversos fatores influenciando a biodiversidade na **Área de Estudo**, é determinar os recursos e estratégias necessárias para promover e acelerar a recuperação da biodiversidade e funcionamento ecológico nas áreas que foram impactadas. No entanto, essas ações dependem da compreensão da trajetória pós-distúrbio tanto das comunidades biológicas, quanto dos processos que eles realizam. Tendo isso em consideração, recomenda-se que:

- Continuação da amostragem das comunidades de Scarabaeidae. A maioria das curvas de acumulação de espécies não atingiu a assíntota, demonstrando que mais espécies poderão vir a ser encontradas em futuras coletas. Novas amostragens também favorecerão o entendimento da trajetória de sucessão em longo-prazo da comunidade de besouros, e também a escolha de ações específicas para mitigação dos impactos do desastre ambiental decorrente do rompimento da barragem de Mariana que sejam adequadas às condições locais de cada BA. No entanto, é válido ressaltar que o intervalo entre amostragens e/ou o esforço amostral para cada campanha deve ser bem discutido, de maneira que o monitoramento não prejudique a recuperação das populações nas áreas mais afetadas. Como não

houve diferença da riqueza de espécies entre as estações seca e chuvosa, sugere-se que as amostragens de besouros sejam concentradas apenas na estação chuvosa, já que este é o período de maior atividade dos Scarabaeidae em regiões tropicais (HALFFTER, 1991) e mais espécies de besouros foram encontradas na região de estudo.

- Avaliação dos recursos disponíveis para a fauna de besouros Scarabaeidae. Isso seria possível através do uso de uma técnica recentemente adotada para monitorar a fauna de vertebrados (DNA ambiental, ou eDNA - Environmental DNA; THOMSEN; WILLERSLEV, 2015). Essa metodologia consiste de dissecar os besouros coletados e utilizar o conteúdo estomacal para extração de amostras de DNA amplificados em conjunto com primers de mamíferos. Além de determinar a disponibilidade de recursos, essa é uma técnica não invasiva para se monitorar a fauna de vertebrados de uma região.
- Monitoramento dos processos ecológicos realizados pelos besouros Scarabaeidae. A manutenção de populações e comunidades saudáveis de besouros será benéfica não apenas para esse grupo – do ponto de vista da conservação biológica, mas tem também o potencial de favorecer a trajetória de recuperação da vegetação através de processos como a dispersão secundária de sementes (BRAGA et al., 2013; GRIFFITHS et al., 2015; SLADE et al., 2007). Isso é sustentado por pesquisas demonstrando que esses organismos podem aumentar as chances de sobrevivência e reduzir a competição entre plântulas (GRIFFITHS et al., 2016a; LAWSON; MANN; LEWIS, 2012). Dessa forma, o monitoramento das funções ecológicas que esses besouros realizam é tão importante quanto apenas o monitoramento da fauna, e apresenta a vantagem de não sacrificar os animais enquanto provê respostas sobre o estado de recuperação das áreas estudadas.
- Obtenção de mais informações da heterogeneidade ambiental local e na escala da paisagem (e.g., local: cobertura do dossel, estrutura da vegetação, estrutura e composição do solo; e paisagem: cobertura florestal, cobertura urbana, densidade de bordas no entorno das parcelas). Mudanças na estrutura da vegetação podem afetar os padrões de distribuição das comunidades de besouros Scarabaeidae em paisagens modificadas pelo homem (COSTA et al., 2017). Sendo assim, mais informações locais e na escala da paisagem poderiam contribuir para separar os efeitos de outros distúrbios dos impactos ecológicos que foram causados pelo rompimento da barragem de Fundão nas comunidades de besouros.

1) Monitoramento populacional: Recomenda-se o monitoramento populacional de espécies da escarabeidofauna baseado em dois critérios (C): C1) valor de conservação da espécie, com base no seu *status* de risco de extinção; e C2) contribuição funcional nos ecossistemas, com base no potencial das espécies em contribuir para a ciclagem de nutrientes e dispersão de sementes que são fatores associados positivamente à recuperação florestal (GRIFFITHS et al., 2015, 2016b). Com base no valor de conservação, sugere-se o monitoramento da espécie *Dichotomius schiffleri*, identificada como ameaçada na lista vermelha de espécies da IUCN (VAZ-DE-MELLO et al., 2013a). O monitoramento dessa espécie, considerada criticamente em perigo no Brasil e no Espírito Santo (**Quadro 55**), poderia subsidiar o melhor conhecimento sobre sua área de abrangência e risco de extinção. As principais ameaças da espécie *D. schiffleri* estão relacionadas à degradação do seu habitat natural, por distúrbios como o fogo, desenvolvimento urbano nas áreas de praia, e conversão de áreas naturais para pastagens (VAZ-DE-MELLO et al., 2013a; VIEIRA; LOUZADA; SPECTOR, 2008). Embora essas ameaças já existam antes do rompimento da barragem de Fundão, não seria uma surpresa que espécie tenha sido afetada de forma indireta pelo rompimento da barragem de Mariana – por exemplo, através do estresse fisiológico, um efeito subletal já registrado para a fauna de besouros da Amazônia em áreas degradadas por atividades antrópicas de baixa intensidade (FRANÇA et al., 2016b). Em relação à contribuição funcional (C2), sugerimos o monitoramento de espécies de grande biomassa (o tamanho corporal), tais como a espécie roladora *Canthon smaragdulus subviridis*, coletada principalmente em iscas de fezes; e a espécie escavadora *Coprophanaeus dardanus*, coletada principalmente em iscas de carcaça. Essas são espécies de tamanho corporal relativamente grande nas nossas amostragens, que poderiam contribuir proporcionalmente mais que espécies menores em processos ecológicos como a dispersão de semente, decomposição de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (GREGORY et al., 2015) e, com isso, possuem grande potencial para contribuir na recuperação da vegetação (GRIFFITHS et al., 2015, 2016b).

3.2.4.5.1. Perguntas a serem respondidas pelo monitoramento

No Parecer Técnico 01/2017, os órgãos ambientais levantaram oito perguntas principais que são o foco do presente estudo. Após o primeiro ano de avaliação ecológica rápida da escarabeofauna (Coleoptera: Scarabaeinae) ao longo do rio Doce e seus tributários, foi possível avaliar se o atual estudo de avaliação de impactos ambientais e monitoramento da fauna atendeu aos objetivos do respectivo parecer técnico. Abaixo, são apresentadas cada uma das questões com seus respectivos comentários.

1) Qual o impacto do evento sobre as espécies da fauna terrestre e aquática?

O primeiro ano de monitoramento da fauna de besouros escarabeíneos demonstrou que:

[i] existe uma relação significativa e positiva entre abundância e riqueza de besouros e a distância do rio Doce para a maioria dos blocos amostrais (BA) estudados (por ex. BA1a, BA1b, BA3 e BA4 [até 1000-1500m]);

[ii] a composição de espécies de besouros respondeu significativamente à:

- distância da barragem de Mariana (e.g., parcelas terrestres em BA1a e BA1b; e parcelas ripárias em BA3);
- distância do rio Doce (e.g., parcelas terrestres em BA1a, BA1b e BA2; e ripárias em BA1b);
- e também outros fatores na paisagem (e.g., distância da unidade de conservação, tipos de uso do solo e distância do município mais próximo).

[iii] as concentrações dos metais pesados Cádmio, Mercúrio e Zinco observadas nos tecidos corporais dos besouros avaliados estavam acima dos valores de referência encontrados na literatura.

Esse conjunto de evidências demonstra que o rompimento da barragem de Fundão pode ter trazido impactos diretos na escarabeofauna, por exemplo, levado à mudanças na composição de espécies e redução na riqueza e abundância dos besouros nas áreas mais próximas ao rio Doce; bem como indiretamente através de impactos subletais causados pelo acúmulo de alguns metais pesados nesses organismos. A ausência de dados das comunidades de besouros presentes anteriormente ao evento de rompimento da barragem, no entanto, dificultam a compreensão da magnitude dos impactos desse distúrbio – que podem vir a ser maiores do que esperado, uma vez que a literatura mostra que a falta de dados temporais (antes e após o distúrbio) podem levar à subestimativa de impactos de distúrbios ambientais em besouros escarabeíneos em regiões tropicais (FRANÇA et al., 2016a).

2) Houve acumulação de metais nas diferentes espécies e no solo?

Sim, foi observado a acumulação dos metais pesados Cádmio, Mercúrio e Zinco nas comunidades de besouros escarabeíneos. De forma geral, todos blocos amostrais apresentaram besouros com:

[i] aproximadamente o dobro da concentração de cádmio apresentada como valor crítico de referência estabelecido pela Organização Mundial da Saúde para a vegetação;

[ii] concentrações de mercúrio entre 1.3 e 7 vezes acima do valor crítico de referência para a fauna de solo presente na literatura; e

[iii] concentrações de zinco no mínimo 24.3 vezes acima do valor crítico de referência estabelecido pela OMS para amostras de vegetação.

3) Até qual distância do rio Doce a acumulação de metais foi observada?

Para esse relatório, não foi possível analisar a acumulação de metais pesados em relação à distância do rio Doce. No entanto, espera-se atender a esse objetivo com as futuras amostragens das comunidades de besouros.

4) Como os metais pesados estão circulando nas cadeias?

A maioria das espécies de besouros escarabeíneos [i] nidifica no solo e [ii] depende das fezes e carcaças de dos vertebrados para sua alimentação e reprodução. Esses dois fatores fazem desses organismos um grupo essencial para o monitoramento do acúmulo de metais pesados tanto nos componentes abióticos quando ao longo das cadeias tróficas. No entanto, a ausência de metodologias específicas focadas na biomagnificação de metais pesados ao longo das cadeias tróficas – como por exemplo, uso de Isótopos Estáveis de Nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) para determinar o nível trófico de um organismo através da análise do seu conteúdo estomacal (CHEUNG; WANG, 2008) – impossibilita a resposta à essa pergunta.

5) Como as taxas de ocupação das diferentes espécies são afetadas pelas distâncias de rios, bordas, estradas e ferrovias, e aspectos físicos e químicos?

Embora a abordagem estatística do relatório da escarabeofauna não tenha sido focada diretamente nas taxas de ocupação das diferentes populações de besouros

escarabeíneos, as análises de composição de espécies demonstraram que outros atributos ambientais, além da distância das parcelas em relação ao rio Doce e à barragem de Mariana, influenciaram as comunidades de besouros. De maneira geral, composição de espécies nas parcelas terrestres também variou significativamente em relação à distância da Unidade de Conservação mais próxima (BA1a, BA1b e BA2), e outras métricas na escala da paisagem como o uso [i] natural (BA1a, BA1b e BA2), [ii] antrópico (BA1b e BA2) e [iii] aquático (BA1a e BA2).

6) Áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC) e aquelas fora de UC são semelhantes em termos de estruturas de comunidades ou são complementares?

Para esse relatório, não foi realizada uma análise direcionada na comparação da estrutura das comunidades entre as parcelas em áreas protegidas e aquelas fora de Unidades de Conservação. Entretanto, embora essa questão não seja diretamente relevante para entender os impactos sofridos pela biota terrestre após o rompimento da barragem de Fundão, espera-se que as futuras coletas de dados em conjunto com o primeiro ano de monitoramento dos besouros escarabeíneos nos permita atender à essa questão através da comparação entre a abundância, riqueza e composição das espécies de besouros.

7) Como se dará a recolonização das áreas que foram restauradas?

Para responder à essa pergunta será necessário a implementação do monitoramento da fauna de besouros escarabeíneos em áreas sendo restauradas ao longo da **BHrD**. Atualmente, nenhuma das parcelas amostradas encontra-se em áreas restauradas, inviabilizando a possibilidade de resposta à essa pergunta.

8) É possível detectar mudanças na composição de espécies de fauna terrestre afetadas pelo desastre?

Conforme apresentado na primeira pergunta sobre o “impacto do evento para a fauna terrestre”, o fato de que a distância da parcela em relação ao rio Doce e à barragem de Mariana foram fatores significativos na composição de espécies evidencia que o rompimento da barragem de Fundão é um dos direcionadores de mudanças na composição de espécies da escarabeofauna. Espera-se, portanto, que o monitoramento em longo-prazo planejado para os próximos 10 anos, nos permita avaliar a trajetória de mudanças na composição das comunidades de besouros ao longo do tempo. Por exemplo, uma trajetória “positiva” ou “de recuperação” – e.g., que indica o retorno da fauna que se encontraria ali originalmente – poderia ser evidenciada com o aumento na

similaridade composicional entre as parcelas mais próximas ao rio Doce e à barragem de Mariana em relação às parcelas em áreas mais distantes e/ou em Unidades de Conservação que apresentam condições ambientais similares. No entanto, o contrário também poderia ser esperado (e.g., uma trajetória de “transição” para comunidades diferentes) caso, ao longo do tempo, a composição de espécies nas áreas mais próximas ao rio Doce e à barragem vier a ser cada vez mais dissimilar em relação às comunidades de besouros presentes nas Unidades de Conservação e/ou em parcelas distantes. Independentemente dos cenários de trajetória aqui hipotetizados, fatores de confusão, como deriva genética em pequenas populações, atividades antrópicas na escala da paisagem e mudanças extremas nas condições climáticas poderiam influenciar qualquer avaliação dos impactos do evento de rompimento da barragem.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul. **Geomorfologia**, v. 52, p. 1–22, 1977.
- AB'SABER, A. N. **Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 4a. ed. [s.l.] Ateliê Editorial, 2003.
- ACKERMAN, J. Euglossine bees and their nectar hosts. In: **The botany and natural history of Panama**. Saint Louis, Missouri: Missouri Botanical Garden, 1985. p. 225–233.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce Rompimento da Barragem em Mariana/MG**. Brasília - DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2016.
- AGOSTI, D. et al. **Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity**. 1a. ed. Washington D.C. and London, UK: Smithsonian Institution Press, 2000.
- AHUATZIN, D. A. et al. Forest cover drives leaf litter ant diversity in primary rainforest remnants within human-modified tropical landscapes. **Biodiversity and Conservation**, v. 28, n. 5, p. 1091–1107, abr. 2019.
- AIRA, M.; DOMÍNGUEZ, J. Earthworm effects without earthworms: Inoculation of raw organic matter with worm-worked substrates alters microbial community functioning. **PLOS ONE**, v. 6, n. 1, 2011.
- ALMEIDA, L. M.; RIBEIRO-COSTA, C. S.; MARINONI, L. **Manual de coleta, conservação, montagem e identificação de insetos**. Holos ed. Ribeirão Preto, São Paulo: [s.n.].
- ALONSO, L. E. Ants as indicators of diversity. In: **Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity**. 1a. ed. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press, 2000. p. 80–88.
- ANDERSEN, A. N. Responses of ant communities to disturbance: Five principles for understanding the disturbance dynamics of a globally dominant faunal group. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 3, p. 350–362, mar. 2019.
- ANDERSEN, A. N.; MAJER, J. D. Ants Show the Way Down Under: Invertebrates as Bioindicators in Land Management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 6, p. 291, ago. 2004.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2 ed. ed. Wallingford: CAB International, 1993. v. 1
- ANDRADE, R. B. et al. Tropical forest fires and biodiversity: dung beetle community and biomass responses in a northern Brazilian Amazon forest. **Journal of Insect Conservation**, v. 18, n. 6, p. 1097–1104, dez. 2014.
- ANDRESEN, E.; LAURANCE, S. G. W. Possible indirect effects of mammal hunting on dung beetle assemblages in Panama. **Biotropica**, v. 39, n. 1, p. 141–146, 2007.
- ANTONINI, Y.; MARTINS, R. P. The value of a tree species (*Caryocar brasiliense*) for a stingless bee *Melipona quadrifasciata* quadrifasciata. **Journal of Insect Conservation**, v. 7, n. 3, p. 167–174, 2003.
- ANTUNES, P. R. **Avaliação da contaminação do alimento larval de *Xylocopa frontalis* (Olivier) (Apidae, Xylocopini) por metais pesados**. Monografia—[s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- ANTWIKI. **AntWiki**. Disponível em: <<https://www.antwiki.org/>>. Acesso em: 21 set. 2019.
- AQUINO, A. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; QUEIROZ, J. M. Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda ("pitfall-traps"). **Circular Técnica, Embrapa**, p. 8, 2006.
- AUDINO, L. D.; LOUZADA, J.; COMITA, L. Dung beetles as indicators of tropical forest restoration success:

Is it possible to recover species and functional diversity? **Biological Conservation**, v. 169, p. 248–257, 2014.

AWRAHMAN, Z. A. et al. Caddisflies Hydropsyche spp. as biomonitors of trace metal bioavailability thresholds causing disturbance in freshwater stream benthic communities. **Environmental Pollution**, v. 216, p. 793–805, 2016.

BACCARO, F. B. et al. **Guia para os gêneros de formigas do Brasil**. 1a. ed. Manaus, AM: INPA, 2015.

BANG, H. S. et al. Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. **Applied Soil Ecology**, v. 29, n. 2, p. 165–171, jun. 2005.

BAPTISTA, D. F. Biomonitoramento em ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 425–441, 2008.

BARCELOS E SILVA, P.; PES, A. M. O.; SALLES, F. F. Annulipalpia (Insecta: Trichoptera) from the state of Espírito Santo, Brazil. **Check List**, v. 8, n. 6, p. 1274, 1 dez. 2012.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região Oeste Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, n. 2, p. 97–106, 2003.

BARETTA, D. et al. Earthworm populations sampled using collection methods in atlantic forests with Araucaria angustifolia. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 384–392, ago. 2007.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, n. 1, p. 119–170, 2011.

BARGAŃSKA, Ž.; ŠLEBIODA, M.; NAMIEŠNIK, J. Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 3, p. 235–248, 4 fev. 2016.

BARLOW, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, p. 1–16, 2016.

BARROS, E. et al. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 5, p. 338–347, 2002.

BARROS, Y. J. et al. Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. II – Mesofauna e plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1413–1426, 2010.

BARTONS, M. et al. Trophic transfer from aquatic to terrestrial ecosystems: a test of the biogeochemical niche hypothesis. **Ecosphere**, v. 9, n. 7, 2018.

BARTZ, M. L. C. et al. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 59–70, 2014.

BECKER, D. J. et al. Mercury bioaccumulation in bats reflects dietary connectivity to aquatic food webs. **Environmental Pollution**, v. 233, p. 1076–1085, 2018.

BEIROZ, W. et al. Spatial and temporal shifts in functional and taxonomic diversity of dung beetles in a human-modified tropical forest landscape. **Ecological Indicators**, v. 95, p. 518–526, dez. 2018.

BESTELMEYER, B. T. et al. Field techniques for the study of ground-living ants: an overview, description, and evaluation. In: AGOSTI, D. et al. (Eds.). . **Ants: standart methods for measuring and monitoring biodiversity**. 1a. ed. Washington D.C. and London, UK: Smithsonian Institution Press, 2000. p. 122–144.

BEYNON, S. A.; WAIWRIGHT, W. A.; CHRISTIE, M. The application of an ecosystem services framework to estimate the economic value of dung beetles to the U.K. cattle industry. **Ecological Entomology**, v. 40, n. S1, p. 124–135, set. 2015.

BICKNELL, J. E. et al. Dung beetles as indicators for rapid impact assessments: Evaluating best practice forestry in the neotropics. **Ecological Indicators**, v. 43, p. 154–161, ago. 2014.

BIRKETT, A. J.; BLACKBURN, G. A.; MENÉNDEZ, R. Linking species thermal tolerance to elevational range shifts in upland dung beetles. **Ecography**, v. 41, n. 9, p. 1510–1519, set. 2018.

BIVAND, R. **Package “spdep”** CRAN, , 2019. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/spdep/spdep.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2019

BLUM, C.; RODERJAN, C. Espécies indicadoras em um gradiente da Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 873–875, 2007.

BLUM, C. T. A Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange, PR-caracterização florística, fitossociológica e ambiental de um gradiente altitudinal. **Curitiba: Universidade Federal do Paraná**, 2006.

BOLTON, B. et al. **Bolton’s catalogue of ants of the world**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2006.

BOLTON, B. **An online catalog of the ants of the world**.

BONILLA-GÓMEZ, M. A.; NATES-PARRA, G. Abejas euglossinas de Colombia (Hymenoptera: Apidae) I. Claves ilustradas. **Caldasia**, p. 149–172, 1992.

BONILLA GOMEZ, M. A. **Caracterização da estrutura espaço-temporal da comunidade de abelhas euglossinas (Hymenoptera, Apidae) na Hileia Baiana**. PhD. Thesis—Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia, 1999.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. New York, NY: Springer New York, 2011.

BORDIN, S. M. S. et al. Frugivorous butterflies from the Atlantic Forest in Southern Brazil (Lepidoptera: Nymphalidae). **Biota Neotropica**, v. 19, n. 4, 2019.

BORTOLUZZI, R. L. DA C. et al. Leguminosae-Papilionoideae no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. I: trepadeiras e subarbustos. **Hickenia**, v. 58, n. 1, p. 25–60, 2003.

BOTTINELLI, N. et al. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 118–124, 2015.

BRAGA, R. F. et al. Are dung beetles driving dung-fly abundance in traditional agricultural areas in the Amazon? **Ecosystems**, v. 15, n. 7, p. 1173–1181, nov. 2012.

BRAGA, R. F. et al. Dung beetle community and functions along a habitat-disturbance gradient in the Amazon: a rapid assessment of ecological functions associated to biodiversity. **PLoS ONE**, v. 8, n. 2, p. e57786, fev. 2013.

BRANDÃO, C.; SILVA, R.; DELABIE, J. Neotropical Ants (Hymenoptera) Functional Groups. In: PANIZZ, A. R.; PARRA, J. R. P. (Eds.). **Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012. p. 213–236.

BRAUN, S. D.; JONES, T. H.; PERNER, J. Shifting average body size during regeneration after pollution - a case study using ground beetle assemblages. **Ecological Entomology**, v. 29, n. 5, p. 543–554, out. 2004.

BRAY, J. R.; CURTIS, J. T. An ordination of the upland forest community of southern Wisconsin. **Ecological Monographs**, v. 27, n. 4, p. 325, out. 1957.

BRITO, M. M. et al. Functional composition and phenology of fruit-feeding butterflies in a fragmented landscape: variation of seasonality between habitat specialists. **Journal of Insect Conservation**, v. 18, n.

4, p. 547–560, 18 ago. 2014.

BROWN, G. G. et al. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná state, Brazil. **Pedobiologia**, v. 47, p. 764–771, 2003.

BROWN, G. G. et al. Exotic, peregrine, and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution, and effects on soils and plants. **Caribbean Journal of Science**, v. 42, n. 3, p. 339–358, 2006.

BROWN, G. G.; DOMÍNGUEZ, J. **Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas - o 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligochaetas**. Xalapa: Instituto de Ecologia A. C., 2010. v. 2

BROWN, G. G.; FRAGOSO, C.; OLIVEIRA, L. J. O uso da macrofauna edáfica na agricultura do século XXI: a importância dos engenheiros do solo. In: BROWN, G. G.; FRAGOSO, C.; OLIVEIRA, L. J. (Eds.). **Documentos 224**. 1a. ed. Londrina, PR: Embrapa, 2003. v. 1p. 236.

BROWN, G. G.; JAMES, S. W. **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. 1a. ed. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2007.

BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; MARINI-FILHO, O. J. Avaliação do risco de extinção da minhoca *Fimoscolex sporadochaetus* Michaelsen, 1918. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 145–149, 2012.

BROWN JR, K. S. Borboletas da Serra do Japi: diversidade, habitats, recursos alimentares e variação temporal. In: MORELLATO, L. P. C. (Ed.). **História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil**. 1a. ed. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1992. p. 142–186.

BROWN JR, K. S.; FREITAS, A. V. L. Diversidade de Lepidoptera em Santa Teresa, Espírito Santo. **Bol. Mus. Biol. Mello Leitão**, 2000.

BROWN, K. S.; FREITAS, A. V. L. Atlantic forest butterflies: Indicators for landscape conservation. **Biotropica**, v. 32, p. 934–956, 2000.

BRUSCA, R. C.; MOORE, W. (ENTOMOLOGIST); SHUSTER, S. M. **Invertebrates**. [s.l: s.n.].

BUCH, A. C. et al. Toxicity of three pesticides commonly used in Brazil to *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) and *Eisenia andrei* (Bouché, 1972). **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 32–38, 2013.

BUCH, A. C. et al. Ecotoxicology of mercury in tropical forest soils: Impact on earthworms. **Science of the Total Environment**, v. 589, p. 222–231, 2017.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 65, n. 1, p. 23–35, 18 ago. 2011.

BUSS, D. F. et al. Stream biomonitoring using macroinvertebrates around the globe: a comparison of large-scale programs. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2015.

BUSS, D. F.; SALLES, F. F. Using Baetidae species as biological indicators of environmental degradation in a Brazilian river basin. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 130, n. 1–3, p. 365–372, 2007.

BYNG, J. W.; CHRISTENHUSZ, M. M. J. Introducing The Global Flora, a global series of botany. In: **The Global Flora: A practical flora to vascular plant species of the world**. Bradford, United Kingdom: Plant Gateway, 2018. p. 1–35.

CALLISTO, M.; MORETII, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados Bentônicos como Ferramenta para Avaliar a Saúde de Riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2001.

CALOR, A. **Ordem Trichoptera Kirby 1813 (Arthropoda: Insecta)**. Disponível em:

<http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/Guia_online/>.

CALOR, A. R.; FROELICH, C. G. Description of the immature stages of *Notalina morsei* Holzenthal, 1986 (Trichoptera: Leptoceridae) and an updated key to larvae of Neotropical Leptoceridae genera. **Zootaxa**, 2008.

CAMPOS FILHO, E. M. et al. Guia de árvores com valor econômico. **São Paulo: Agroicone**, v. 37, n. 3, p. 141, 2015.

CAMPOS, L. A. O. et al. Utilização de armadilhas para a captura de machos de *Euglossini* (Hymenoptera, Apoidea). **Revista Brasileira de Zoologia**, 1989.

CAMPOS, R. C.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Changes in the dynamics of functional groups in communities of dung beetles in Atlantic forest fragments adjacent to transgenic maize crops. **Ecological Indicators**, v. 49, p. 216–227, 2015.

CANIVET, V.; CHAMBON, P.; GIBERT, J. Toxicity and bioaccumulation of arsenic and chromium in epigeal and hypogean freshwater macroinvertebrates. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 40, n. 3, p. 345–354, 2001.

CARMO, F. F. DO et al. Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 3, p. 145–151, jul. 2017.

CARVALHO, R. L. et al. Understanding what bioindicators are actually indicating: Linking disturbance responses to ecological traits of dung beetles and ants. **Ecological Indicators**, v. 108, p. 105764, jan. 2020.

CASTILHO, C. et al. Manual para Medição e Marcação de Árvore em grades e módulos RAPELD do PPBio. **Programa de Pesquisa em Biodiversidade**, p. 1–22, 2014.

CASTRO, F. S. et al. Annual and seasonal changes in the structure of litter-dwelling ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) in Atlantic Semideciduous Forests. **Psyche**, v. 2012, p. 1–12, 2012.

CERÍACO, L. M. P.; GUTIÉRREZ, E. E.; DUBOIS, A. Photography-based taxonomy is inadequate, unnecessary, and potentially harmful for biological sciences. **Zootaxa**, v. 4196, n. 3, p. 435, 23 nov. 2016.

CHAO, A. Estimating the Population Size for Capture-Recapture Data with Unequal Catchability. **Biometrics**, v. 43, n. 4, p. 783–791, 1987.

CHAO, A. et al. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological Monographs**, 2014.

CHAO, A.; JOST, L. Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. **Ecology**, v. 93, n. 12, p. 2533–2547, 2012.

CHASE, M. W. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1–20, 2016.

CHEUNG, M. S.; WANG, W.-X. Analyzing biomagnification of metals in different marine food webs using nitrogen isotopes. **Marine Pollution Bulletin**, v. 56, n. 12, p. 2082–2088, dez. 2008.

CHIBUNDA, R. T. Chronic Toxicity of Mercury ($HgCl_2$) to the Benthic Midge *Chironomus riparius*. **Int. J. Environ. Res.**, v. 3, n. 3, p. 455–462, 2009.

CICHÓN, M.; KOZŁOWSKI, J. Ageing and typical survivorship curves result from optimal resource allocation. **Evolutionary Ecology Research**, v. 2, p. 857–870, 2000.

COELHO, I. R.; RIBEIRO, S. P. Environment heterogeneity and seasonal effects in ground-dwelling ant (Hymenoptera: Formicidae) assemblages in the Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brazil. **Neotropical**

entomology, v. 35, n. 1, p. 19–29, 2006.

COLODETE, M. F.; PEREIRA, O. J. Levantamento Florístico da restinga de Regência, Linhares / ES. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 558–560, 2007.

COLWELL, R. K. et al. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. **Journal of Plant Ecology**, v. 5, n. 1, p. 3–21, 1 mar. 2012.

COLWELL, R. K. **EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples** Version 9.1, 2016. Disponível em: <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS/>>

COLWELL, R. K.; CODDINGTON, J. A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 345, n. 1311, p. 101–18, 29 jul. 1994.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº 420/2009. . 2009, p. 81–84.

COPAM. Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais. . 2010.

CORBET, P. S. **A biology of dragonflies**. [s.l.] E.W. Classey, 1983.

COSTA, C. et al. Variegated tropical landscapes conserve diverse dung beetle communities. **PeerJ**, v. 5, p. e3125, abr. 2017.

COSTA, C. B.; RIBEIRO, S. P.; CASTRO, P. DE T. A. Ants as bioindicators of natural succession in savanna and riparian vegetation impacted by dredging in the Jequitinhonha River Basin, Brazil. **Restoration Ecology**, v. 18, p. 148–157, 2010.

COSTA, J. M.; OLDRINI, B. B. DIVERSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DOS ODONATA (INSECTA) NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL. **Publicações Avulsas do Museu Nacional do Rio de Janeiro**, 2005.

CRAWLEY, M. J. **The R book**. England: John Wiley & Sons Ltda, 2013. v. 5

CRUZ, P. V.; SALLES, F. F.; HAMADA, N. Four new species of Callibaetis Eaton (Ephemeroptera: Baetidae), nymphal description of Callibaetis (Abaetetuba) fasciatus (Pictet) & keys for South American species of callibaetis. **Zootaxa**, 2017.

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**, 2005.

CUPELLO, M.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. Revalidation of the Brazilian Atlantic Forest dung beetle species Coprophanaeus (Metallophanaeus) machadoi (Pereira & d'Andretta, 1955) (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae: Phanaeini) based on morphological and distributional evidence. **Zootaxa**, v. 3869, n. 4, p. 435, out. 2014.

CURTINHAS, J. N. et al. Caracterização fitossociológica da vegetação herbácea de áreas alteradas pela atividade agropecuária na região do Médio Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, jun. 2010.

D'ABRERA, B. **Butterflies of the neotropical region**. [s.l.] Hill House, 1987.

DADA, E. O. et al. Physiological responses of a tropical earthworm: a potential tool for biomonitoring heavy metal pollution in tropical wetlands. **Nigerian Journal of Ecology**, v. 15, n. 1, p. 11–18, 2016.

DALAL, A.; GUPTA, S. Aquatic Insects as Pollution Indicator—A Study in Cachar, Assam, Northeast India. **Environmental Pollution**, p. 103–124, 2018.

DE OLIVEIRA, M. L. Catálogo comentado das espécies de abelhas do gênero Eulaema Lepeletier, 1841

(Hymenoptera: Apidae). **Lundiana**, 2007.

DE SOUZA, J. J. L. L. et al. Geochemistry and spatial variability of metal(loid) concentrations in soils of the state of Minas Gerais, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 505, p. 338–349, fev. 2015.

DE SOUZA, M. M. et al. List of odonates from Mata do Baú, Barroso, Minas Gerais, Brazil. **Check List**, 2013.

DE VRIES, W. et al. **Critical limits for cadmium, lead and mercury related to ecotoxicological effects on soil organisms, aquatic organisms, plants, animals and humans**. Expert meeting on critical limits for heavy metals and methods for their application. **Anais...**Berlin: UN-ECE, 2002

DE VRIES, W.; RÖMKENS, P. F. A. M.; SCHÜTZE, G. Critical soil concentrations of cadmium, lead, and mercury in view of health effects on humans and animals. **Reviews of environmental contamination and toxicology**, v. 191, p. 91–130, 2007.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo, SP: Editora Companhia das Letras, 1996.

DELABIE, J. H. C. et al. **As formigas poneromorfas do Brasil**. Editus ed. Ilhéus, BA: [s.n.].

DELABIE, J. H. C.; AGOSTI, D.; NASCIMENTO, I. C. DO. Litter ant communities of the Brazilian Atlantic rain forest region. In: DONATI, A. et al. (Eds.). **Sampling ground-dwelling ants: case studies from the worlds' rain forests**. Perth, Australia: Curtin Institute of Technology, 2000. p. 1–17.

DEVRIES, P. J. **The butterflies of Costa Rica and their natural history**. 1st ed. ed. [s.l.] Princeton University Press, 1987.

DIAZ-FORERO, I. et al. **Bumblebees as potential indicators for the evaluation of habitat quality**. WIT Transactions on Ecology and the Environment. **Anais...**12 jul. 2011Disponível em: <<http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=SDP11-034-1>>

DO NASCIMENTO, J. M. C.; SALLES, F. F.; HAMADA, N. **Systematics of Simothraulopsis Demoulin, 1966 (Ephemeroptera: Leptophlebiidae)**Zootaxa, 2017.

DOMINGUEZ, E. et al. **Aquatic Biodiversity in Latin America Biodiversidad Acuática en América Latina Ephemeroptera of South America Ephemeroptera de América del Sur**. [s.l: s.n.].

DOMÍNGUEZ, E. et al. Ephemeroptera of South America. In: **Aquatic Biodiversity in Latin America**. [s.l: s.n.].

DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; MARIANO, R. Revision of the South American species of Hagenulopsis ulmer and Askola peters (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) with description of six new species. **Zootaxa**, 2009.

DRONOVA, I. Environmental heterogeneity as a bridge between ecosystem service and visual quality objectives in management, planning and design. **Landscape and Urban Planning**, v. 163, p. 90–106, jul. 2017.

DRUMOND, M. A.; MEIRA-NETO, J. A. A. Composições florística e fitossociológica de uma mata secundária de um trecho da Mata Atlântica. **Ciência Rural**, v. 29, n. 4, p. 657–661, 1999.

DUARTE, M. Lepdoptera. In: RAFAEL, J. A. et al. (Eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto, SP.: Holos, 2012. p. 625–682.

DUFRÊNE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, v. 67, n. 3, p. 345–366, 1997.

EDMONDS, W. D.; ZIDEK, J. Taxonomic review of the Neotropical genus Coprophanaeus Olsoufieff, 1924

(Coleoptera: Scarabaeidae, Scarabaeinae). **Insecta Mundi**, v. Paper 649, p. 49–63, 2010.

EDMUNDS, G.; JENSER, S.; BERNER, L. The Biological Role of Mayflies. In: EDMUNDS, G.; JENSER, S.; BERNER, L. (Eds.). **The Mayflies of North and Central America**. Minnesota: University of Minnesota Press, 1976. p. 3–25.

EDWARDS, D. P. et al. Reduced-impact logging and biodiversity conservation: a case study from Borneo. **Ecological Applications**, v. 22, n. 2, p. 561–571, mar. 2012.

EISENLOHR, P. V.; DE OLIVEIRA-FILHO, A. T. Revisiting Patterns of Tree Species Composition and their Driving Forces in the Atlantic Forests of Southeastern Brazil. **Biotropica**, 2015.

ELLENRIEDER, A. VON. *Mecistogaster pronoti*, Atlantic Helicopter. v. 8235, 2015.

FARIA, L. R. R.; MELO, G. A. R. DE. Species of Euglossa of the analis group in the Atlantic forest (Hymenoptera, Apidae). **Zoologia (Curitiba)**, 2012a.

FARIA, L. R. R.; MELO, G. A. R. Species of Euglossa of the analis group in the Atlantic forest (Hymenoptera, Apidae). **Zoologia (Curitiba)**, v. 29, n. 4, p. 349–374, ago. 2012b.

FARJI-BRENER, A. G. Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forests than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis. **Oikos**, v. 92, p. 169–177, 2001.

FELIPPE, M. F. et al. A tragédia do Rio Doce: a lama, o povo e a água - Relatório da expedição ao Rio Doce. **Geografias**, n. January, p. 27, 2016.

FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35–45, jul. 2016.

FERRARI, R. R.; SILVEIRA, F. A. The species of Colletinae (Hymenoptera: Colletidae) in the Brazilian state of Minas Gerais. **Zootaxa**, v. 3914, n. 3, p. 245–274, 2015.

FERREIRA-PERUQUETTI, P. S.; DE MARCO, P. J.; DE MARCO JR., P. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 2002.

FERREIRA, V. B. R.; NASCIMENTO, M. T.; MENEZES, L. F. T. DE. Floristic and phytogeographic pattern of native field in southeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 28, n. 3, p. 465–475, 2014.

FILHO, R. L. DA S. A. et al. Distribuição espacial de *Pseudopiptadenia contorta* (DC.) G.P. Lewis & M. P. Lima (Fabaceae/Mimosoideae) em uma Floresta Estacional Decidua em Vitória da Conquista, BA, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 1, p. 49–53, 2015.

FLINT, O. S. Studies of Neotropical Caddisflies, Lxi: New Species of *Leptonema* Guérin (Trichoptera: Hydropsychidae). v. 110, n. 2, p. 456–469, 2008.

FONSECA, G. A. B. DA. Impactos antrópicos e biodiversidade terrestre. In: DE PAULA, J. A. (Ed.). **Biodiversidade, população e economia: uma região de Mata Atlântica**. Belo Horizonte, MG: UFMG / Cedeplar - ECMVS PADCT / CIAMB, 1997. p. 455–468.

FONSECA, N. G.; KUMAGAI, A. F.; MIELKE, O. H. H. Lepidópteros visitantes florais de *Stachytarpheta cayennensis* (Rich.) Vahl (Verbenaceae) em remanescente de Mata Atlântica, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, 2006.

FORZZA, R. C. et al. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil, volume 1**. Rio de Janeiro, RJ: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010.

FOSSATI, O. et al. Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebrate communities in clear water Andean streams (Bolivia). **Fundamental and Applied Limnology**, 2001.

FRANÇA, F. et al. New distributional data on *Oxysternon pteroderum* Nevinson, 1892 (Scarabaeidae, Scarabaeinae, Phanaeini) and its possible implications in conservation. **ZooKeys**, v. 174, p. 1–6, mar. 2012.

FRANÇA, F. et al. Do space-for-time assessments underestimate the impacts of logging on tropical biodiversity? An Amazonian case study using dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 4, p. 1098–1105, ago. 2016a.

FRANÇA, F. et al. Does selective logging stress tropical forest invertebrates? Using fat stores to examine sublethal responses in dung beetles. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 23, p. 8526–8533, dez. 2016b.

FRANÇA, F.; LOUZADA, J.; BARLOW, J. Selective logging effects on 'brown world' faecal-detritus pathway in tropical forests: A case study from Amazonia using dung beetles. **Forest Ecology and Management**, v. 410, p. 136–143, fev. 2018.

FRANÇA, F. M. et al. Identifying thresholds of logging intensity on dung beetle communities to improve the sustainable management of Amazonian tropical forests. **Biological Conservation**, v. 216, p. 115–122, dez. 2017.

FRANÇA, G. S.; STEHMANN, J. R. Florística e estrutura do componente arbóreo de remanescentes de Mata Atlântica do médio rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguesia**, v. 64, n. 3, p. 607–624, 2013.

FRANCISCHETTI, C. N. **Ephemeroptera (Insecta) do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais: Brasil: Biodiversidade e Distribuição Espacial**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2007.

FRANCISCHETTI, C. N.; DA-SILVA, E. **Alimentação de ninfas de *Caenis cuniana* Froehlich, 1969 (Ephemeroptera, Caenidae) em um brejo temporário da restinga de Maricá, Estado do Rio de Janeiro.pdf**Boletim do Museu Nacional, 2001.

FREITAS, A.; FRANCINI, R. B.; S. BROWN JR, K. Insetos como indicadores ambientais. In: **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. 1st. ed. ed. [s.l.] Fundação Boticário e Editora da UFPR, 2003. p. 121–151.

FREITAS, A. V. L. et al. Borboletas da Reserva Natural vale, Linhares/ES. **Floresta Atlântica de Tabuleiro: Diversidade e endemismos na Reserva Natural Vale**, v. 11, n. November 2017, p. 317–328, 2016.

FREITAS, A. V. L.; BARBOSA, E. P.; MARÍN, M. A. Immature Stages and Natural History of the Neotropical Satyrine *Pareuptychia Ocirrhoe Interjecta* (Nymphalidae: Euptychiina). **Journal of the Lepidopterists' Society**, v. 70, n. 4, p. 271–276, dez. 2016.

FREITAS, A. V. L.; MARINI-FILHO, O. J. **Plano de ação nacional para a conservação dos Lepidópteros**. Brasília, DF, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2011.

FRÜND, H.-C.; GRAEFE, U.; TISCHER, S. Earthworms as Bioindicators of Soil Quality. In: KARACA, A. (Ed.). **Biological of Earthworms**. Berlin: Springer, 2011. v. 24p. 261–278.

GALL, J. E.; BOYD, R. S.; RAJAKARUNA, N. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 4, p. 201, abr. 2015a.

GALL, J. E.; BOYD, R. S.; RAJAKARUNA, N. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 4, p. 201, 24 abr. 2015b.

GARDNER, T. A. et al. The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. **Ecology Letters**, v. 11, p. 139–150, 2008.

GARRISON, R. W.; VON ELLENRIEDER, N.; LOUTON, J. A. **Dragonfly Genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Anisoptera**. [s.l.: s.n.].

GERARDO LAMAS. Atlas of neotropical Lepidoptera: Checklist Pt. 4a Hesperioidea-papilionoidea. In: HEPPNER, J. B. (Ed.). **Atlas Of Neotropical Lepidoptera**. [s.l.] Scientific Pub, 2004. p. 439.

GERHARDT, A. Effects of subacute doses of iron (Fe) on *Leptophlebia marginata* (Insecta: Ephemeroptera). **Freshwater Biology**, v. 27, n. 1, p. 79–84, 1992.

GIANGARELLI, D. C. et al. *Eufriesea violacea* (Blanchard) (Hymenoptera: Apidae): an orchid Bee apparently sensitive to size reduction in forest patches. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 5, p. 610–615, out. 2009.

GIARETTA, A.; MENEZES, L. F. T. DE; PEREIRA, O. J. Structure and floristic pattern of a coastal dunes in southeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 1, p. 87–107, 2013.

GIESWEIN, A.; HERING, D.; LORENZ, A. W. Development and validation of a macroinvertebrate-based biomonitoring tool to assess fine sediment impact in small mountain streams. **Science of The Total Environment**, v. 652, p. 1290–1301, 20 fev. 2019.

GOLDER ASSOCIATES. **Avaliação de Impacto Sobre as Espécies Terrestres Ameaçadas de Extinção**. Belo Horizonte, MG, Brasil: [s.n.].

GONÇALVES, M.; LOMBARDI, J. A. Adições ao conhecimento da composição florística de dois remanescentes de Mata Atlântica do sudeste de Minas Gerais, Brasil. **Lundiana**, v. 5, n. 1, p. 3–8, 2004.

GONÇALVES, R. B. Phylogeny and new species of the Neotropical bee genus *Paroxystoglossa* Moure (Hymenoptera, Apoidea). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 61, n. 2, p. 178–191, 2017.

GONÇALVES, R. B.; MELO, G. A. R. Phylogeny and revision of the bee genus *Rhinocorynura* Schrottky (Hymenoptera, Apidae, Augochlorini), with comments on its female cephalic polymorphism. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 56, n. 1, p. 29–46, 2012.

GONTIJO, A. B. et al. **Distribuição de espécies de formigas de serrapilheira (Hymenoptera: Formicidae) em resposta a heterogeneidade ambiental em diferentes escalas**. São Paulo: 2007

GOODSELL, P. J.; UNDERWOOD, A. J.; CHAPMAN, M. G. Evidence necessary for taxa to be reliable indicators of environmental conditions or impacts. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 3, p. 323–331, 2009.

GOTELLI, N. J.; COLWELL, R. K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letters**, v. 4, n. 4, p. 379–391, 22 jul. 2001.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v. 2, n. 1, p. 1–9, 2003.

GOULART, M.; RIBEIRO, S. P.; LOVATO, M. B. Genetic, morphological and spatial characterization of two populations of *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae), in different successional stages. **Brazilian Archives of Biology**, v. 48, n. March, p. 275–284, 2005.

GRAÇANO, D.; PRADO, J.; AZEVEDO, A. A. Levantamento preliminar de Pteridophyta do Parque Estadual do Rio Doce (MG). **Acta Botanica Brasilica**, v. 12, n. 2, p. 165–181, ago. 1998.

GRAF, V.; URBAN, D. Uma espécie nova de *Oxaea* Klug (Hymenoptera, Apidae, Andreninae) do Espírito Santo, Brasil e notas complementares. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, n. 3, p. 407–410, set. 2008.

GREGORY, N. et al. Big dung beetles dig deeper: trait-based consequences for faecal parasite transmission. **International Journal for Parasitology**, v. 45, n. 2–3, p. 101–105, fev. 2015.

GRIFFITHS, H. M. et al. Biodiversity and environmental context predict dung beetle-mediated seed dispersal in a tropical forest field experiment. **Ecology**, v. 96, n. 6, p. 1607–1619, jun. 2015.

GRIFFITHS, H. M. et al. Assessing the importance of intraspecific variability in dung beetle functional traits. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, mar. 2016a.

GRIFFITHS, H. M. et al. The value of trophic interactions for ecosystem function: dung beetle communities

influence seed burial and seedling recruitment in tropical forests. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1844, p. 20161634, dez. 2016b.

GRIMALDI, D. A.; ENGEL, M. S. **Evolution of the insects**. [s.l.] Cambridge University Press, 2005.

GROVE, M. K. et al. Suspended sediment regimes in contrasting reference-condition freshwater ecosystems: Implications for water quality guidelines and management. **Science of the Total Environment**, v. 502, p. 481–492, 2015.

GUERRA, M. B. B. et al. Post-catastrophe Analysis of the Fundão Tailings Dam Failure in the Doce River System, Southeast Brazil: Potentially Toxic Elements in Affected Soils. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, n. 7, p. 252, jul. 2017.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. Os Insetos: Um resumo de entomologia. In: **Editora Rocca Ltda, São Paulo**. [s.l.: s.n.].

HAGGAG, A. A. A. et al. Family Variation of Aquatic Insects and Water Properties to Assess Freshwater Quality in El-Mansouriya Stream , Egypt Published By : Entomological Society of Southern Africa Your use of this PDF , the BioOne Web site , and all posted and associated conten. **African Entomology**, v. 26, n. 1, p. 162–173, 2018.

HALFFTER, G. Historical and ecological factors determining the geographical distribution of beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). **Biogeographia – The Journal of Integrative Biogeography**, v. 15, fev. 1991.

HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. the Natural History of Dung Beetles. **Revista latinoamericana de microbiología**, v. 12, p. 147–164, 1966.

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

HAMID, S. A.; RAWI, C. S. Application of Aquatic Insects (Ephemeroptera , Plecoptera And Trichoptera) In Water Quality Assessment of Malaysian Headwater In Asian inland aquatic ecosystem , various factors has threatened biodiversity which are related to human activities (Yule &. **Tropical Life Sciences Research**, v. 28, n. 2, p. 143–162, 2017.

HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. **Dung Beetle Ecology**. New Jersey: Princeton University Press, 1991.

HATJE, V. et al. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 10706, dez. 2017.

HAWKES, H. . Biological surveillance of rivers. **Water Pollution Control**, v. 81, p. 329–342, 1982.

HAWKINS, C. P.; OLSON, J. R.; HILL, R. A. The reference condition: predicting benchmarks for ecological and water-quality assessments. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 29, n. 1, p. 312–343, 2010.

HECKMAN, C. W. **Encyclopedia of South American aquatic insects: Hemiptera - Heteroptera: Illustrated keys to known families, genera, and species in South America**. [s.l.: s.n.].

HEDSTRÖM, I.; DENZEL, A.; OWENS, G. Orchid bees as bio-indicators for organic coffee farms in Costa Rica: Does farm size affect their abundance? **Revista de Biologia Tropical**, 2006.

HEIKENS, A.; PEIJNENBURG, W. J. G. .; HENDRIKS, A. . Bioaccumulation of heavy metals in terrestrial invertebrates. **Environmental Pollution**, v. 113, n. 3, p. 385–393, ago. 2001.

HEIKKILA, M. et al. Cretaceous origin and repeated tertiary diversification of the redefined butterflies. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1731, p. 1093–1099, 22 mar. 2012.

HELIOVAARA, K.; VÄISÄNEN, R. Heavy-Metal Contents in Pupae of *Bupalus piniarius* (Lepidoptera: Geometridae) and *Panolis flammea* (Lepidoptera: Noctuidae) near an Industrial Source. **Environmental Entomology**, v. 19, n. 3, p. 481–485, 1 jun. 1990.

HENRIQUES, N. R. et al. Butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea) from the campos rupestres of Serra de São José, Minas Gerais, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 3, 9 maio 2019.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The Ants**. Massachusetts: Harvard University Press, 1990.

HOLZENTHAL, R.; THOMSON, R.; RÍOS-TOUMA, B. Order Trichoptera. Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology. In: THORP, J.; COVICH, A. (Eds.). **Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology**. 4ª ed. [s.l.] Elsevier Inc, 2014. p. 965–1002.

HOLZENTHAL, R. W.; CALOR, A. R. Catalog of the Neotropical Trichoptera (Caddisflies). **ZooKeys**, 2017.

HORA, A. M. et al. Da exploração econômica da bacia hidrográfica do Rio Doce ao atual processo de degradação de seus recursos naturais. In: **Território, mobilidade populacional e ambiente**. Governador Valadares, MG: Univale, 2012. p. 201–234.

HORGAN, F. G.; FUENTES, R. C. Asymmetrical competition between Neotropical dung beetles and its consequences for assemblage structure. **Ecological Entomology**, v. 30, n. 2, p. 182–193, abr. 2005.

HSIEH, T. C.; MA, K. H.; CHAO, A. iNEXT online: interpolation and extrapolation. **R package version 1.0**, 2013.

HSIEH, T. C.; MA, K. H.; CHAO, A. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). **Methods in Ecology and Evolution**, v. 7, p. 1451–1456, 2016.

HUERTA, E. et al. Towards an ecological index for tropical soil quality based on soil macrofauna. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p. 1056–1062, 2009.

IBAMA-COREC. **Parecer Técnico nº 1/2017-COREC/CGBIO/DBFLO**. Brasília - DF: [s.n.]. Disponível em: <http://www.golder.ca/en/modules.php?name=Pages&sp_id=331>.

IBAMA-COREC. **Parecer Técnico nº 15/2017-COREC/CGBIO/DBFLO**. Brasília - DF, Brasil: [s.n.].

IBAMA. **Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) entre União/Estados de MG e ES/Samarco/Vale/BHP**. Brasília - DF: [s.n.].

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2nd ed. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. v. 39

ICMBIO/MMA. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume I. In: **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília, DF: ICMBio, 2018a. p. 492.

ICMBIO/MMA. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília DF: ICMBio, 2018b.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VII - Invertebrados. In: **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília, DF: ICMBio, 2018. v. VIIp. 727.

ISO. DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO / DIS 23611-1 Soil quality — Sampling of soil invertebrates — Part 1: Hand-sorting and extraction of earthworms ISO / CEN PARALLEL PROCESSING Reference number. **International Standard Organization**, v. 1, n. 1, 2017.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em: <www.iucnredlist.org>. Acesso em: 30 set. 2019.

JAMES, S. W.; GEORGE G. BROWN. Ecologia e diversidade de minhocas no Brasil. In: MOREIRA, F. M.

S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Eds.). . **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras-MG: UFLA, 2008. v. 1p. 768.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora do Brasil 2020**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/PrincipalUC/PrincipalUC.do;jsessionid=363D041556B49FBF66EF0B863322C57#CondicaoTaxonCP>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

JEFFREY, S. et al. **European Atlas of Soil Biodiversity**. 1. ed. Luxembourg: EUR 24375 EN, 2010. v. 1

JOHNSON, S. N. et al. An insect ecosystem engineer alleviates drought stress in plants without increasing plant susceptibility to an above-ground herbivore. **Functional Ecology**, v. 30, n. 6, p. 894–902, jun. 2016.

JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos**, v. 69, n. 3, p. 373–386, 1994.

JOST, L. Entropy and diversity. **Oikos**, v. 113, n. 2, p. 363–375, maio 2006.

JUCHEN, C. R. et al. Comparative of Local Background Values for Trace Elements in Different Brazilian Tropical Soils. **International Journal of Environmental Engineering and Natural Resources**, v. 1, n. 6, p. 255–261, 2014.

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, set. 2018.

JUNQUEIRA, M. V.; FRIEDRICH, G. Avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Paraíba do Sul através do índice “ISMR” adaptado para as comunidades de macroinvertebrados bentônicos tropicais do Brasil. **Revista MG BIOTA**, v. 4, p. 13–36, 2011.

JUNQUEIRA, M. V.; FRIEDRICH, G.; PEREIRA DE ARAUJO, P. R. A saprobic index for biological assessment of river water quality in Brazil (Minas Gerais and Rio de Janeiro states). **Environmental Monitoring and Assessment**, 2010.

KAFEL, A. et al. The effects of cadmium or zinc multigenerational exposure on metal tolerance of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Environmental science and pollution research international**, v. 21, n. 6, p. 4705–15, mar. 2014a.

KAFEL, A. et al. The effects of cadmium or zinc multigenerational exposure on metal tolerance of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Environmental science and pollution research international**, v. 21, n. 6, p. 4705–15, mar. 2014b.

KEVAN, P. G. Pollinators as bioindicators of the state of the environment: Species, activity and diversity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 1999.

KIKUCHI, R. M.; UIEDA, V. S. Composição e distribuição dos macroinvertebrados em diferentes substratos de fundo de um riacho no Município de Itatinga, São Paulo, Brasil. **Entomología y Vectores**, 2005.

KITCHIN, P. L. Measuring the amount of statistical information in the EPT index. **Environmetrics**, 2005.

KLEINERT, A. DE M. P.; ETEROVIC, A.; SANTOS FILHO, P. DE S. Por que os levantamentos de abelhas falham quando se trata de entender suas comunidades? In: V.L. IMPERATRIZ-FONSECA et al. (Eds.). . **Polinizadores no Brasil - Contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo, SP: EDUSP, 2012. p. 175–180.

KNAPPER, C. F. U.; PORTO, R. P. Ocorrência de oligochaetas nos solos do Rio Grande do Sul. **Acta Biologica Leopoldensia**, v. 1, n. 1, p. 137–166, 1979.

KOCH, E. B. A. et al. Comparative evaluation of taxonomic and functional diversities of leaf-litter ants of the Brazilian Atlantic Forest. **Turkish Journal of Zoology**, v. 43, n. 5, p. 437–456, 2 set. 2019.

KOVATS, Z. E.; CIBOROWSKI, J. J. H.; CORKUM, L. D. Inland dispersal of adult aquatic insects. **Freshwater Biology**, v. 36, n. 2, p. 265–276, 1996.

KREMEN, C. et al. Terrestrial Arthropod Assemblages : Their Use in Conservation Planning. **Conservation Biology**, v. 7, n. 4, p. 796–808, 1993.

LACAU, L. S. R. et al. Respostas das guildas de formigas (Hymenoptera: Formicidae) a práticas silviculturais em plantio de eucaliptos. **Agrotrópica**, v. 20, p. 61–72, 2008.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos tropicos: ecossistemas florestais e respectivas especies arboreas: possibilidades e metodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn, Alemanha: Instituto de Silvicultura da Universidade Gottingen, 1990.

LAPIED, E.; LAVELLE, P. The peregrine earthworm *Pontoscolex corethrurus* in the East coast of Costa Rica. **Pedobiologia**, v. 47, n. 5–6, p. 471–474, jan. 2003.

LASKOWSKI, R.; HOPKIN, S. P. Accumulation of Zn, Cu, Pb and Cd in the garden snail (*Helix aspersa*): Implications for predators. **Environmental Pollution**, v. 91, n. 3, p. 289–297, 1996.

LASSAU, S. A.; HOCHULI, D. F. Effects of habitat complexity on ant assemblages. **Ecography**, v. 27, p. 157–164, 2004.

LAVELLE, P. et al. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. **Biology and Fertility of Soils**, v. 5, n. 3, p. 188–194, 1987.

LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, n. October, p. S3–S15, 2006.

LAVELLE, P. et al. Earthworms as key actors in self-organized soil systems. In: **Theoretical Ecology Series**. [s.l.: s.n.]. v. 4p. 77–107.

LAWSON, C. R.; MANN, D. J.; LEWIS, O. T. Dung Beetles Reduce Clustering of Tropical Tree Seedlings. **Biotropica**, v. 44, n. 3, p. 271–275, maio 2012.

LEE, K. E. Ecological strategies of earthworms. In: **On Earthworms**. Modena: [s.n.]. p. 171–181.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. 3rd. ed. ed. [s.l.] Elsevier Academic Press, 2012. v. 1

LEMLY, A. D. Modification of benthic insect communities in polluted streams: combined effects of sedimentation and nutrient enrichment. **Hydrobiologia**, v. 87, n. 3, p. 229–245, 1982.

LENCIONI, F. **Damselflies of Brazil, an illustrated identification guide: I – The non-Coenagrionidae families**. São Paulo: All Print, 2005.

LENCIONI, F. **Damselflies of Brazil, an illustrated identification guide: II – Coenagrionidae families**. [s.l.] All Print, 2006.

LENNOX, G. D. et al. Second rate or a second chance?: Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. **Global Change Biology**, 2018.

LEWINSOHN, T. M.; FREITAS, A. V. L.; PRADO, P. I. Conservation of Terrestrial Invertebrates and Their Habitats in Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 640–645, jun. 2005.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. Síntese do conhecimento atual da biodiversidade brasileira. **Avaliação do Estado do Conhecimento da Biodiversidade Brasileira**, p. 92, 2002.

LI, L. Z. et al. Uptake pathways and toxicity of Cd and Zn in the earthworm *Eisenia fetida*. **Soil Biology and**

Biochemistry, v. 42, n. 7, p. 1045–1050, 2010.

LINDQVIST, L. Accumulation of Cadmium, Copper, and Zinc in Five Species of Phytophagous Insects. **Environmental Entomology**, v. 21, n. 1, p. 160–163, 1 fev. 1992.

LOMBARDI, J. A.; GONÇALVES, M. Composição florística de dois remanescentes de Mata Atlântica do sudeste de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 3, p. 255–282, set. 2000.

LOPES, R. DE M. F. et al. Estrutura do componente arbóreo de floresta estacional semidecidual montana secundária no alto Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 4, p. 1037–1053, 2009.

LOPOUKHINE, N. et al. Protected areas: Providing natural solutions to 21st Century challenges. **Sapiens**, v. 5, n. 2, p. 117–131, 2012.

LOSEY, J. E.; VAUGHAN, M. The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. **BioScience**, v. 56, n. 4, p. 311, 2006.

LOURENÇO, G. M.; CAMPOS, R. B. F.; RIBEIRO, S. P. Spatial distribution of insect guilds in a tropical montane rainforest: effects of canopy structure and numerically dominant ants. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 9, n. 2, p. 163–174, 2015.

LOUZADA, J. N. C.; SCHIFFLER, G.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. Efeitos do fogo sobre a estrutura da comunidade de Scarabaeidae (Insecta, Coleoptera) na restinga da Ilha de Guriri-ES. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. S. (Eds.). **Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga**. Brasília, Brazil: Universidade de Brasília, 1996. p. 161–169.

LUKE, S. H. et al. Functional structure of ant and termite assemblages in old growth forest, logged forest and oil palm plantation in Malaysian Borneo. **Biodiversity and Conservation**, v. 23, n. 11, p. 2817–2832, out. 2014.

LUKKARI, T. et al. Effects of heavy metals on earthworms along contamination gradients in organic rich soils. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 59, n. 3, p. 340–348, 2004.

MAAS, G. C. B. et al. Metais pesados em um Latossolo Vermelho em função de doses de lodo de esgoto. **Engenharia Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 97–106, 2014.

MACKAY, W. P.; MACKAY, E. **The systematics and biology of the New World ants of the genus Pachycondyla (Hymenoptera: Formicidae)**. Lewiston: New York: Edwin Mellen Press, 2010.

MAGNUSSON, W. E. et al. RAPELD: a modification of the Gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites. **Biota Neotropica**, v. 5, n. 2, 2005.

MAGURRAN, A. E. **Measuring Biological Diversity**. 1st. ed. ed. [s.l.] Blackwell Publishing Ltd, 2004.

MAJER, J. D. “Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. **Environmental Management**, v. 7, n. 4, p. 375–383, 1983.

MAJER, J. D. Ant recolonisation of rehabilitated bauxite mines of Poços de Caldas, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, n. 1, p. 97–108, 1992.

MARCHI, P.; ALVES-DOS-SANTOS, I. As abelhas do gênero *Xylocopa* Latreille (Xylocopini, Apidae) do Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, 2013.

MARIUS GUDBRANDSEN. **The effects of mercuric chloride on survival, growth, reproduction, burrowing speed and glutathione concentrations in the earthworm species Eisenia fetida Savigny**. Master Thesis, University of Oslo—Oslo, NOR: [s.n.].

MARTINS, A. C. Abordagens históricas no estudo das interações planta-polinizador. **Oecologia Australis**, 2013.

MARTINS, F. R. **Estrutura de uma floresta mesófila**. [s.l.] Editora da Universidade Estadual de Campinas, 1991.

MARTINS, S. V. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. [s.l.] Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2012.

MASSARIOL, F. C.; SOARES, E. D. G.; SALLES, F. F. Conservation of mayflies (Insecta, Ephemeroptera) in Espírito Santo, southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, 2014.

MASTROMONACO, G. F.; GUNN, K.; EDWARDS, D. B. Validation and use of hair cortisol as a measure of chronic stress in eastern chipmunks (*Tamias striatus*). **Conservation Physiology**, v. 2, p. cou055, 2014.

MATIN, G.; KARGAR, N.; BUYUKISIK, H. B. Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. **Ecological Engineering**, v. 90, p. 331–335, maio 2016.

MCGEACH, M. A.; RENSBERG, B. J. VAN; BOTES, A. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. **Journal of Applied Ecology**, n. 1997, p. 661–672, 2002.

MCGEACH, M. A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biological Reviews**, v. 73, n. 2, p. 181–201, 1998.

MEHRABI, Z. et al. The Importance of Microhabitat for Biodiversity Sampling. **PLOS ONE**, v. 9, n. 12, p. e114015, dez. 2014.

MEINDL, G. A.; ASHMAN, T.-L. The effects of aluminum and nickel in nectar on the foraging behavior of bumblebees. **Environmental Pollution**, v. 177, p. 78–81, jun. 2013.

MELO, L. C. N.; SALINO, A. Pteridófitas de duas áreas de floresta da Bacia do Rio Doce no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Lundiana**, v. 3, n. 2, p. 129–139, 2002.

MELO, V. F. et al. Reference values for potentially harmful elements in soils from Atlantic Rainforest, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 181, n. February 2016, p. 138–147, 2017.

MENÉNDEZ, R. et al. Climate change and elevational range shifts: evidence from dung beetles in two European mountain ranges. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 6, p. 646–657, jun. 2014.

MEREGALLI, T. **The Effects of Soil Copper Contamination on Earthworm Cholinergic Transmission, Locomotion and Muscle Physiology**. Senior Theses, Trinity College—Hartford, [s.n.].

MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W.; BERG, M. B. **An introduction to the Aquatic insects of North America**. [s.l.] Kendall/Hunt Pub. Co, 2008.

METCALFE, J. L. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. **Environmental Pollution**, 1989.

MEYER, S. T. et al. Ecosystem Engineering By Leaf-Cutting Ants: Nests Of *Atta Cephalotes* Drastically Alter Forest Structure And Microclimate. **Ecological Entomology**, v. 36, p. 14–24, 2011.

MICHENER, C. D. **The bees of the world**. [s.l.] Johns Hopkins University Press, 2007.

MIGUEL, T. B. et al. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. **Ecological Indicators**, 2017.

MMA. RESOLUÇÃO Nº 29, DE 07 DE DEZEMBRO DE 1994. . 1994.

MMA. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO**.

MMA. RESOLUÇÃO Nº 392, DE 25 DE JUNHO DE 2007. . 2007.

MMA. Portaria MMA nº 443, de 17 de dezembro de 2014. . 2014 a, p. 110–121.

MMA. **Painel Nacional de Indicadores Ambientais**. Brasília, DF: [s.n.].

MMA; SFB. **Florestas do Brasil em resumo**. Brasília, DF: MMA, 2009.

MOÇO, M. K. S. et al. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 46, n. 3, p. 347–354, 2010.

MOFFETT, M. W. What's "up"? A critical look at the basic terms of canopy biology. **Biotropica**, v. 32, p. 569–596, 2000.

MONTEIRO, M. M. et al. Composição e estrutura de uma restinga arbustiva aberta no norte do Espírito Santo e relações florísticas com formações similares no Sudeste do Brasil. **Rodriguesia**, v. 65, n. 1, p. 61–72, 2014.

MOTA, F. A. C.; SANTANA, G. P. Plantas e metais potencialmente tóxicos – estudos de fitorremediação no Brasil. **Scentia Amazonia**, v. 5, n. 1, p. 22–36, 2016.

MOULTON, T. P. Saúde e integridade do ecossistema e o papel dos insetos aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 05, n. 01, p. 281–298, 1998.

MOYO, S. Preliminary Estimations of Insect Mediated Transfers of Mercury and Physiologically Important Fatty Acids from Water to Land. **Biomolecules**, v. 10, n. 1, 2020.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. [s.l.] Wiley, 1974.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. February, p. 853–858, 24 fev. 2000.

NADOLNY, H. **Estado da arte das minhocas como bioindicadoras da qualidade dos solos Brasileiros**. [s.l.] UFPR, 2017.

NAGAI, M. E. **ECO R: using R [WWW document]** Exerc. do Micael, , 2011.

NAHMANI, J.; ROSSI, J. P. Soil macroinvertebrates as indicators of pollution by heavy metals. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 326, n. 3, p. 295–303, 2003.

NEMÉSIO, A. Orchid bees (Hymenoptera: Apidae) of the Brazilian Atlantic forest. **Zootaxa**, 2009a.

NEMÉSIO, A. Orchid bees (Hymenoptera: Apidae) of the Brazilian Atlantic Forest. **Zootaxa**, v. 2041, n. 1, p. 1–242, 16 mar. 2009b.

NEMÉSIO, A. Species of *Euglossa* Latreille, 1802 (Hymenoptera: Apidae: Euglossina) belonging to the *purpurea* species group occurring in eastern Brazil, with description of *Euglossa monnei* sp. n. **Zootaxa**, v. 3151, n. 1, p. 35, 5 jan. 2012.

NEMESIO, A.; ENGEL, M. Three new cryptic species of *Euglossa* from Brazil (Hymenoptera, Apidae). **ZooKeys**, v. 222, p. 47–68, 21 set. 2012.

NEMÉSIO, A.; FERRARI, R. R. Species of euglossa (Glossura) and E. (Glossuropoda) hymenoptera: Apidae: Euglossina) occurring in the amazon, including new records for Brazil. **Zootaxa**, v. 2885, n. 2885, p. 1–13, 2011.

NEMÉSIO, A.; PAULA, I. The orchid-bee fauna (Hymenoptera: Apidae) of 'RPPN Feliciano Miguel Abdala' revisited: relevant changes in community composition. **Brazilian Journal of Biology**, 2013.

NEMÉSIO, A.; SILVEIRA, F. A. Biogeographic notes on rare species of Euglossina (Hymenoptera: Apidae: Apini) occurring in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 1, p. 117–120, fev. 2004.

NEMÉSIO, A.; SILVEIRA, F. A. Edge effects on the orchid-bee fauna (Hymenoptera: Apidae) at a large remnant of Atlantic Rain Forest in southeastern Brazil. **Neotropical Entomology**, 2006a.

NEMÉSIO, A.; SILVEIRA, F. A. Deriving ecological relationships from geographical correlations between host and parasitic species: An example with orchid bees. **Journal of Biogeography**, 2006b.

NESSIMIAN, J. L. et al. **Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams**. Hydrobiologia. **Anais...**2008

NETO, L. DE F. DA S. et al. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhoca em diferentes classes de solo da Paraíba. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1365–1371, 2010.

NICHOLS, E. et al. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, n. 6, p. 1461–1474, jun. 2008.

NICHOLS, E. et al. Co-declining mammals and dung beetles: an impending ecological cascade. **Oikos**, v. 118, n. 4, p. 481–487, abr. 2009.

NIEMI, G. J.; MCDONALD, M. E. Application of ecological indicators. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p. 89–111, 2004.

NIEMINEN, M.; NOURTEVA, P.; TULISALO, E. The effect of metals on the mortality of *Pamassius apollo* larvae (Lepidoptera: Papilionidae). **Journal of Insect Conservation**, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2001.

NOGUEIRA, D. S. **Sistemática de Scaura Schwarz, 1938 (Hymenoptera: Apidae, Meliponini), com notas biológicas**. MSc. Thesis—Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2016.

NORIEGA, J. A. et al. Research trends in ecosystem services provided by insects. **Basic and Applied Ecology**, v. 26, p. 8–23, fev. 2018.

NOWINSZKY, L. Nocturnal Illumination and Night Flying Insects. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 2, n. 1, p. 17–52, 2004.

OGUNDELE, D. T.; ADIO, A. A.; OLUDELE, O. E. Heavy Metal Concentrations in Plants and Soil along Heavy Traffic Roads in North Central Nigeria. **Journal of Environmental & Analytical Toxicology**, v. 05, n. 06, p. 1–5, 2015.

OKSANEN, A. J. et al. Package ‘vegan’. n. January, 2015.

OKSANEN, J. et al. **Vegan: Community Ecology Package**The Comprehensive R Archive Network, , 2019. Disponível em: <<https://github.com/vegandevs/vegan>>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. M. A. L.; AURELIO, M. Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 793–810, dez. 2000.

OLIVEIRA, M. A. DE et al. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**, v. 61, n. suppl, p. 800–807, dez. 2014.

OLIVER, T. et al. Heterogeneous landscapes promote population stability. **Ecology Letters**, v. 13, n. 4, p. 473–484, abr. 2010.

OMACHI, C. Y. et al. Atlantic Forest loss caused by the world’s largest tailing dam collapse (Fundão Dam, Mariana, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 12, p. 30–34, 2018.

PALO JR., H. **Borboletas do Brasil: 3 volumes**. 1a. ed. São Carlos, SP: Vento Verde Editora, 2017.

PAOLETTI, M. G. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 74, n. 1–3, p. 137–155, 1999.

PAPROCKI, H.; FRANÇA, D. Brazilian Trichoptera Checklist II. **Biodiversity Data Journal**, 2014.

PASSAMANI, M.; MENDES, S. L. **Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção no Estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica, 2007.

PAULA, A. DE; LOPES, W. DE P.; SILVA, A. F. Florística e estrutura de fragmentos florestais no entorno da lagoa Juparanã, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão (Nova Série)**, v. 26, p. 5–23, 2009.

PAYE, H. DE S. et al. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no estado do espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, p. 2041–2051, 2010.

PEIXOTO, A. L. et al. Tableland Forests North of the Rio Doce: Their Representation in the Linhares Forest Reserve, Espírito Santo State, Brazil. **Memoirs of the New York Botanical Garden**, v. 100, p. 369–372, 2008.

PEREIRA, M. P. S. et al. Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 197–204, 2007.

PERUQUETTI, R. C. et al. Abelhas Euglossini (Apidae) de áreas de Mata Atlântica: abundância, riqueza e aspectos biológicos. **Revista Brasileira de Zoologia**, 1999.

PES, A. M. O.; HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L. Chaves de identificação de larvas para famílias e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, 2005.

PETTIROSSI, N. Riqueza , abundância e composição de espécies de borboletas frugívoras (Lepidoptera, Nymphalidae) da Reserva Florestal Mata de Santa Genebra , Campinas , Brasil. **Bol. Mus. Biol. Mello Leitão**, v. 25, p. 13–29, 2009.

PHILIPS, K. H.; KOBIELA, M. E.; SNELL-ROOD, E. C. Developmental lead exposure has mixed effects on butterfly cognitive processes. **Animal Cognition**, v. 20, n. 1, p. 87–96, 30 jan. 2017.

PHILIPS, T. K. The Evolutionary History and Diversification of Dung Beetles. In: SIMMONS, L. W.; RIDSDILL-SMITH, T. J. (Eds.). . **Ecology and Evolution of Dung Beetles**. [s.l.] Blackwell Publishing Ltd, 2011. p. 21–46.

PHILPOTT, S. M.; PERFECTO, I.; PARR, C. L. Ant diversity and function in disturbed and changing habitats. In: **Ant ecology**. Oxford, UK: Oxford University Press Inc., 2010. p. 137–156.

PINHEIRO, C. et al. Endemismos e Conservação de Borboletas (Lepidoptera: Papilionoidea e Hesperioidea) no Bioma Cerrado. In: DINIZ, I. et al. (Eds.). . **Cerrado: conhecimento científico quantitativo como subsidio para ações de conservação**. 1st. ed. ed. [s.l.] Universidade de Brasília, 2010. p. 225–238.

PIVARI, M. O. et al. Macrófitas aquáticas do sistema lacustre do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 4, p. 759–770, dez. 2011.

PIVARI, M. O. D. et al. Macrófitas Aquáticas da Lagoa Silvana, Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Iheringia. Série Botânica**, v. 63, n. 2, p. 321–328, 19 dez. 2008.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria**, 2018.

RABELLO, A. M. et al. When is the best period to sample ants in tropical areas impacted by mining and in

rehabilitation process? **Insectes Sociaux**, v. 62, p. 227–236, 2015.

RABELLO, A. M. et al. **Cartilha para avaliação de impactos ambientais e reabilitação de áreas degradadas baseada em comunidade de formigas e suas interações com plantas**. Lavras-MG: Editora UFLA, 2018.

RAINBOW, P. S. et al. Caddisflies as biomonitors identifying thresholds of toxic metal bioavailability that affect the stream benthos. **Environmental Pollution**, v. 166, p. 196–207, 2012.

REYNOLDS, JW., JORDAN, G. A preliminary conceptual model of Megadrile activity and abundance in the haliburton highlands. **Megadrilologica**, v. 2, n. 2, p. 1–11, 1975.

RIBAS, C. R. et al. Can ants be used as indicators of environmental impacts caused by arsenic? **Journal of Insect Conservation**, v. 16, p. 413–421, 2012a.

RIBAS, C. R. et al. Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. **Psyche**, v. 2012, p. 1–23, 2012b.

RIBEIRO, D. B. A Guilda de Borboletas frugívoras em uma paisagem fragmentada no Alto Paraíba - SP. **Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campinas, Brasil**, 2006.

RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 26 mar. 1990.

RICHARDSON, D. R.; SNYDER, B. A; HENDRIX, P. F. Soil Moisture and Temperature: Tolerances and Optima for a Non- Native Earthworm Species , *Amyntas agrestis* (Oligochaeta: Opisthopora: Megascolecidae). **Southeastern Naturalist**, v. 8, n. 2, p. 325–334, 2009.

ROBERTS, D. W. **Labdsv: Ordination and multivariate analysis for ecology.**, 2012. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=labdsv>>

ROBERTS, D. W. **labdsv: Ordination and multivariate analysis for ecology**. [s.l.: s.n.].

ROCHA, W. D. DA et al. How does bromeliad distribution structure the arboreal ant assemblage (Hymenoptera: Formicidae) on a single tree in a Brazilian Atlantic forest agroecosystem? **Myrmecological News**, v. 21, p. 83–92, 2015.

ROCHA FILHO, L. C. DA; PACKER, L. Phylogeny of the cleptoparasitic megachilini genera *coelioxys* and *radoszkowskiana*, with the description of six new subgenera in *coelioxys* (Hymenoptera: Megachilidae). **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 180, n. 2, p. 354–413, 2017.

RODRÍGUEZ, M.; ALSINA, A. R. Especies de *Ancyloscelis* Latreille del sur de Sudamérica (Hymenoptera, Apidae) con aparato bucal no modificado: nuevas especies y notas sinónimas. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie**, v. 6, n. 2, p. 351–361, 2004.

ROIG ALSINA, A. Two new species of *Melitoma* Lapeletier & Serville (Hymenoptera, Apidae, Emphorini) from South America, with modified hind legs in the males. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales**, v. 11, n. 1, p. 101–105, 2009.

ROLIM, S. G. et al. Composição Florística do estrato arbóreo da Floresta Estacional Semidecidual na Planície Aluvial do rio Doce, Linhares, ES, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 3, p. 549–561, set. 2006.

ROMAN, A. Concentration of chosen trace elements of toxic properties in bee pollen loads. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 18, n. 2, p. 265–272, 2009.

RÖMBKE, J.; SCHMIDT, P.; HÖFER, H. The earthworm fauna of regenerating forests and anthropogenic habitats in the coastal region of Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p. 1040–1049, 2009.

ROUBIK, D. W. **Ecology and natural history of tropical bees**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

RUTGERS, M. et al. Mapping earthworm communities in Europe. **Applied Soil Ecology**, v. 97, p. 98–111, 2016.

SADEGHI, A. et al. Use of Honeybees as Bio-Indicators of Environmental Pollution in the Kurdistan Province of Iran. **Journal of Apicultural Science**, v. 56, n. 2, p. 83–88, 1 dez. 2012a.

SADEGHI, A. et al. Use of honeybees as bio-indicators of environmental pollution in the Kurdistan Province of Iran. **Journal of Apicultural Science**, v. 56, n. 2, p. 83–88, 1 dez. 2012b.

SAITER, F. Z. et al. Uma revisão sobre a controversa classificação fisionômica da Floresta de Linhares, norte do Espírito Santo. **Rodriguesia**, v. 68, n. 5, p. 1987–1999, 2017.

SAKAGAMI, S. F.; LAROCA, S.; MOURE, J. S. Wild Bee Biocoenotics in Sao Jose dos Pinhais (PR), South Brazil. **Journal of the Faculty of Science Hokkaido University**, v. 16, n. 2, p. 253–291, 1967.

SALLES, F. F. et al. Primeiro levantamento da fauna de Ephemeroptera (Insecta) do Espírito Santo, Sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 10, p. 293–307, 2010.

SALLES, F. F. et al. Discovery of an alien species of mayfly in South America (Ephemeroptera). **ZooKeys**, 2014a.

SALLES, F. F. et al. Oligoneuria Pictet: Phylogenetic analysis and description of three new species from Brazil (Ephemeroptera: Oligoneuriidae). **Systematic Entomology**, 2014b.

SALLES, F. F. et al. Order Ephemeroptera. In: HAMADA, N.; THORP, J.; ROGERS, D. C. (Eds.). **Key to Neotropical Hexapoda**. 4ª ed. [s.l.] Academic Press, 2018. p. 61–117.

SALLES, F. F. et al. **Ephemeroptera do Brasil**. Disponível em: <<http://ephemeroptera.com.br/>>.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental - Conceitos e Métodos**. 2nd. ed. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2015.

SANTOS, A. P. M. et al. **Brazilian Caddisflies: Checklists and Bibliography**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/braziliancaddisflies>>.

SANTOS, R. D. DOS et al. **Levantamento Expedito dos Solos das Reservas Florestais de Linhares e Sooretama no Estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2004.

SANTOS, G. G. et al. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 115–122, 2008.

SANTOS, J. P. et al. Monitoramento de Borboletas: o Papel de um Indicador Biológico na Gestão de Unidades de Conservação. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 1, p. 87–99, 2016.

SANTOS, L. M.; SILVEIRA, F. A. Taxonomic notes on *Megalopta* Smith, 1853 (Hymenoptera: Halictidae: Augochlorini) with a synopsis of the species in the state of Minas Gerais, Brazil. **Zootaxa**, v. 2194, n. 1, p. 1–20, 11 ago. 2009.

SAUTTER, K. D. et al. Present knowledge on earthworm biodiversity in the State of Paraná, Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S296–S300, 2006.

SCARABNET.

SCHÄFER, A. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais**. 1a. ed. ed. Porto Alegre, RS: UFRGS, 1985.

SCHIFFLER, G.; Z. VAZ-DE-MELLO, F.; AZEVEDO, C. O. Scarabaeidae s.str. (Coleoptera) do Delta do Rio Doce e Vale do Suruaca no Município de Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 5, n. 2, p. 205–211, 2003.

SCHLINDWEIN, C. et al. O gênero *Xylocopa* Latreille no Rio Grande do Sul, Brasil (Hymenoptera, Anthophoridae). **Revista Brasileira de Entomologia**, 2003.

SHEPHERD, G. et al. **Visual Soil Assessment**. Rome: [s.n.].

SHIMANO, Y. et al. Distribuição espacial das guildas tróficas e estruturação da comunidade de Ephemeroptera (Insecta) em córregos do Cerrado de Mato Grosso, Brasil. **Iheringia. Série Zoológica**, 2012.

SIDDIQUE, A. et al. Geochemical and Geostatistical Investigations of Chromium Pollution in Groundwater. **Water Environment Research**, v. 80, n. 2, p. 149–153, 2008.

SILVA, A. R. M. et al. Borboletas frugívoras do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais. **MG.Biota**, v. 3, n. 4, p. 5–21, 2010.

SILVA, A. R. M. et al. Borboletas frugívoras (Lepidoptera: Nymphalidae) de uma área urbana (Área de Proteção Especial Manancial Cercadinho) em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 12, n. 3, p. 292–297, set. 2012a.

SILVA, P. G. DA; HERNÁNDEZ, M. I. M. Spatial Patterns of Movement of Dung Beetle Species in a Tropical Forest Suggest a New Trap Spacing for Dung Beetle Biodiversity Studies. **PLOS ONE**, v. 10, n. 5, p. e0126112, maio 2015.

SILVA, R. H. P. DA. **Extração e comércio de minhocaços em Minas Gerais: complexidades e incertezas socioambientais**. [Dissertação]. [s.l.] UFMG, 2016.

SILVA, J. et al. Fauna do solo em sistemas de manejo com café. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 1987, p. 59–71, 2012b.

SILVA, L. S. et al. Heavy metal contents in Latosols cultivated with vegetable crops1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 4, p. 391–400, 2016.

SILVA, P. G.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; DI MARE, R. A. Attractiveness of different bait to the Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) in Forest Fragments in Extreme Southern Brazil. **Zoological Studies**, v. 51, n. 4, p. 429–441, 2012.

SILVA, R. R. et al. Grupos tróficos e guildas em formigas poneromorfas. In: DELABIE, J. H. C. et al. (Eds.). **As formigas poneromorfas do Brasil**. Ilhéus, BA, Brazil: EDITUS, 2015. p. 163–179.

SILVA, W. P.; PAZ, J. R. L. DA. Abelhas sem ferrão: muito mais do que uma importância econômica. **Natureza on line**, v. 10, n. 3, p. 146–152, 2012.

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R. DE; ALMEIDA, E. A. B. **Abelhas brasileiras: sistemática e identificação**. [s.l.] [Fernando A. Silveira], 2002.

SIMONELLI, M. et al. Floristic Composition and Structure of the Tree Component of a Muçununga Forest in the Linhares Forest Reserve, Espírito Santo, Brazil. **Memoirs of the New York Botanical Garden**, v. 100, p. 345–364, 2008.

SITTERS, J. et al. Interactions between C : N : P stoichiometry and soil macrofauna control dung decomposition of savanna herbivores. **Functional Ecology**, v. 28, n. 3, p. 776–786, jun. 2014.

SIVAKUMAR, S. Effects of metals on earthworm life cycles: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 8, p. 530, 28 ago. 2015.

SKORBIŁOWICZ, M.; SKORBIŁOWICZ, E.; CIEŚLUK, I. Bees as bioindicators of Environmental pollution

with metals in an urban area. **Journal of Ecological Engineering**, v. 19, n. 3, p. 229–234, 1 maio 2018.

SLADE, E. M. et al. Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 76, p. 1094–1104, 2007.

SLADE, E. M. et al. Disentangling the “brown world” faecal-detritus interaction web: Dung beetle effects on soil microbial properties. **Oikos**, v. 125, n. 5, 2016a.

SLADE, E. M. et al. The role of dung beetles in reducing greenhouse gas emissions from cattle farming. **Scientific Reports**, v. 6, n. November, p. 18140, jan. 2016b.

SOMAVILLA, A. et al. Diversidade de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) e visitação floral em uma área de Mata Atlântica no Sul do Brasil. **EntomoBrasilis**, v. 11, n. 3, p. 191, 21 dez. 2018.

SOUSA, R. O. DE; VAHL, L. C.; OTERO, X. L. Química de solos alagados. In: MELO, V. DE F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e Mineralogia do Solo-Parte II**. 1. ed. Viçosa-MG: SBCS, 2009. p. 486–525.

SOUZA, A. L. DE et al. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 169–179, fev. 2012.

SOUZA, P. B. DE; MEIRA NETO, J. A. A.; SOUZA, A. L. DE. Diversidade florística e estrutura fitossociológica de um gradiente topográfico em Floresta Estacional Semidecidual Submontana, MG. **CERNE**, v. 19, n. 3, p. 489–499, set. 2013.

SOUZA, L. O. I.; COSTA, J. M.; OLDRINI, B. B. **Odonata**.

SOWA, G.; SKALSKI, T. Effects of Chronic Metal Exposure on the Morphology of Beetles Species Representing Different Ecological Niches. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 102, n. 2, p. 191–197, fev. 2019.

STEFANELLO, D. et al. Síndromes de dispersão de diásporos das espécies de trechos de vegetação ciliar do rio das Pacas, Querência - MT. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 141–150, mar. 2010.

STEFFEN, G. P. K. **Diversidade de minhocas e sua relação com ecossistemas naturais e alterados no estado do Rio Grande do Sul**. [Tese]. [s.l.] Santa Maria - RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

STEHMANN, J. R. et al. **Plantas da Floresta Atlântica**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.].

STORK, N. E. et al. New approaches narrow global species estimates for beetles, insects, and terrestrial arthropods. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 2015.

STUBBINGTON, R. et al. Biomonitoring of intermittent rivers and ephemeral streams in Europe: Current practice and priorities to enhance ecological status assessments. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 1096–1113, 2018.

SUGUITURU, S. S. et al. (EDS.). **Formigas do Alto Tietê**. 1. ed. Bauru, SP: Canal 6, 2015.

SUORSA, P. et al. Forest management is associated with physiological stress in an old-growth forest passerine. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 270, n. 1518, p. 963–969, maio 2003.

TAHERI, S. et al. Complex taxonomy of the ‘brush tail’ peregrine earthworm *Pontoscolex corethrurus*. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 124, n. February, p. 60–70, 2018.

TANCK, B. C. B.; SANTOS, H. R.; DIONÍSIO, J. A. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo sobre a flutuação populacional do oligochaeta edáfico *Amyntas* SPP. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 24, p. 409–415, 2000.

TARASOV, S.; GÉNIER, F. Innovative Bayesian and Parsimony Phylogeny of Dung Beetles (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae) Enhanced by Ontology-Based Partitioning of Morphological Characters. **Plos One**, v. 10, n. 3, p. e0116671, 2015.

TEIXEIRA, M. C.; SANTOS, I. A.; SCHOEREDER, J. H. Atta robusta: endemismo, extinção ou ausência de estudos? In: **Insetos sociais: da biologia à aplicação**. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 359–367.

TEIXEIRA, M. C.; SCHOEREDER, J. H.; LOUZADA, J. Occurrence of Atta robusta Borgmeier (Hymenoptera: Formicidae) in the North of Espírito Santo State, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 2, p. 265–266, 2004.

TEIXEIRA, M. C.; SCHOEREDER, J. H.; MAYHÉ-NUNES, A. J. Geographic distribution of Atta robusta (Hymenoptera: Formicidae). **Neotropical Entomology**, v. 32, p. 615–623, 2003.

THOMSEN, P. F.; WILLERSLEV, E. Environmental DNA - An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. **Biological Conservation**, v. 183, p. 4–18, 2015.

TOMASIK, P.; WARREN, D. M. The use of Daphnia in studies of metal pollution of aquatic systems. **Environmental Reviews**, v. 4, n. 1, p. 25–64, 1996.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. . **Estudo dos insetos**. [s.l: s.n.].

TRUEMAN, J.; ROWE, R. Odonata. Dragonflies and Damselflies. 2009.

TSCHARNTKE, T. et al. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses. **Biological Reviews**, v. 87, n. 3, p. 661–685, 2012.

UEHARA-PRADO, M. et al. Guia das borboletas frugívoras da Reserva Estadual do Morro Grande e região de Caucaia do Alto, Cotia (São Paulo). **Biota Neotropica**, v. 4, n. 1, p. 1–25, 2004.

UEHARA-PRADO, M.; BROWN JR, K. S.; FREITAS, A. V. L. Biological traits of frugivorous butterflies in a fragmented and a continuous landscape in the south Brazilian Atlantic Forest. **Journal of the Lepidopterists' Society**, v. 59, n. 2, p. 96–106, 2005.

UNDERWOOD, E. C.; FISHER, B. L. The role of ants in conservation monitoring: If, when, and how. **Biological Conservation**, v. 132, p. 166–182, 2006.

URBAN, D. Considerations on Anthidulum Michener stat. n. and Dicranthidium Moure & Urban, stat. n. and descriptions of new species (Hymenoptera, Megachilidae). **Revista brasileira de Zoologia**, v. 9, n. 1–2, p. 11–28, 1992.

VAN SAN, N.; SPITZER, K. Isolated populations of the winter moth, Operophtera brumata (Lepidoptera: Geometridae), their heavy metal content and parasitism. **European Journal of Entomology**, v. 90, n. 3, p. 311–321, 1993.

VANNOTE, R. L. et al. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 1980.

VAZ-DE-MELLO, F. et al. Dichotomius schiffleri. **he IUCN Red List of Threatened Species**, v. e.T137111A, p. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-2.RLTS.T137>, 2013a.

VAZ-DE-MELLO, F. et al. **Ateuchus squalidus**The IUCN Red List of Threatened Species. [s.l: s.n.].

VAZ-DE-MELLO, F. Z. Estado Atual de conhecimentos dos Scarabaeidae s. str. (Coleoptera: Scarabaeoidea) do Brasil. In: MARTÍN-PIERA, F.; MORRONE, J. J.; MELIC, A. (Eds.). . **Hacia un Proyecto CYTED para el Inventario y Estimación de la Diversidad Entomológica em Iberoamérica: PRIBES-2000**. Zaragoza: Sociedad Entomológica Aragonesa & CYTED, 2000. p. 181–195.

VAZ-DE-MELLO, F. Z. et al. A multilingual key to the genera and subgenera of the subfamily Scarabaeinae

of the New World (Coleoptera: Scarabaeidae). **Zootaxa**, v. 2854, n. 1, p. 1, abr. 2011.

VELOSO, H. P. et al. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1991.

VIEIRA, L.; LOUZADA, J. N. C.; SPECTOR, S. Effects of Degradation and Replacement of Southern Brazilian Coastal Sandy Vegetation on the Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae). **Biotropica**, v. 40, n. 6, p. 719–727, nov. 2008.

WALTZ, R. D.; MCCAFFERTY, W. P. **Revision of the genus Cloeodes Traver (Ephemeroptera: Baetidae)** *Annals of the Entomological Society of America*, 1987.

WANTZEN, K.; PINTO-SILVA, V. Uso de Substratos Artificiais para Avaliação do Impacto do Assoreamento sobre Macroinvertebrados Bentônicos em um Córrego de Cabeceira no Pantanal do Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, p. 99–107, 2006.

WARD, P. S. Taxonomy, phylogenetics, and evolution. In: **Ant ecology**. Oxford Uni ed. United States: Oxford University Press Inc., 2010. p. 3–17.

WARD, P. S. **AntWeb: ants of California**.

WARREN, A. D. et al. **Illustrated Lists of American Butterflies**. Disponível em: <<http://www.butterfliesofamerica.com>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

WATER, L.; CONTROL, P. Hydropsychidae as bio-indicators. v. 3, n. October 1982, p. 331–341, 1983.

WESTRICH, P. **Habitat requirements of central European bees and the problems of partial habitats**. Linnean Society Symposium Series. **Anais...** Academic Press Limited, 1996

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York, NY: Springer New York, 2009.

WORLD HEALTH ORGANISATION. **Permissible limits of heavy metals in soil and plants**. Geneva, Switzerland: [s.n.].

YANG, Z. et al. The effect of environmental heterogeneity on species richness depends on community position along the environmental gradient. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 15723, dez. 2015.

ZACCA, T. et al. Systematics of the butterfly genus *Cissia* Doubleday, 1848 (Lepidoptera: Nymphalidae: Satyrinae) using an integrative approach. **Arthropod Systematics and Phylogeny**, v. 76, n. 2, p. 349–376, 2018.

ZARIĆ, N. M. et al. Metal concentrations around thermal power plants, rural and urban areas using honeybees (*Apis mellifera* L.) as bioindicators. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, n. 2, p. 413–422, 6 fev. 2016.

ZHANG, Z.-S. et al. Mercury, Cadmium and Lead Biogeochemistry in the Soil–Plant–Insect System in Huludao City. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 83, n. 2, p. 255–259, 12 ago. 2009.

ZHANG, Z. Q. Animal biodiversity: An introduction to higher-level classification and taxonomic richness. **Zootaxa**, 2011.

ZHELYAZKOVA, H. Honeybees - Bioindicators for environmental quality. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, 2012.

ZHOU, J. et al. Lead exposure improves the tolerance of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) to cypermethrin. **Chemosphere**, v. 88, n. 4, p. 507–513, jul. 2012.

ZHOU, J. et al. Mercury in terrestrial forested systems with highly elevated mercury deposition in

southwestern China: The risk to insects and potential release from wildfires. **Environmental Pollution**, v. 212, p. 188–196, maio 2016.

5. ÍNDICE REMISSIVO

BA – Bloco Amostral;

BHRD - Bacia Hidrográfica do rio Doce;

CR – Categoria de ameaça a extinção - Criticamente Ameaçada;

DD – Categoria de ameaça a extinção - Deficiente em dados;

EN – Categoria de ameaça a extinção - Em perigo;

ES – Espírito Santo;

FESD – Floresta Estacional Semidecidual;

MG – Minas Gerais;

NT – Categoria de ameaça a extinção - Quase ameaçada;

PR – *Parcelas Ripárias*;

PEX – Categoria de ameaça a extinção - Extinta regionalmente;

PT – *Parcelas Terrestres*;

T – Módulo RAPELD de amostragem padronizada; trilha principal;

GLM – Modelos Lineares Generalizados;

NMDS – Escalonamento multidimensional não-métrico;

VU – Categoria de ameaça a extinção – Vulnerável;

UA – Unidade amostral;

UC – Unidade de Conservação da Biodiversidade;