DIVERSIDADE DE SCARABAEINAE (INSECTA: COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) COMO INDICADOR DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS AFETADAS PELO DESASTRE AMBIENTAL DE MARIANA-MG

DÉBORA CALDEIRA DO AMARAL GOMES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO – 2026

DIVERSIDADE DE SCARABAEINAE (INSECTA: COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) COMO INDICADOR DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS AFETADAS PELO DESASTRE AMBIENTAL DE MARIANA-MG

DÉBORA CALDEIRA DO AMARAL GOMES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Dr. Bruno Clarkson Mattos

Coorientadora: Dra. Marcelita França Marques

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JULHO – 2026

FICHA CATALOGRÁFICA
UENF - Bibliotecas
Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

G633 Gomes, Débora Caldeira do Amaral.

Diversidade de Scarabaeinae (Insecta : Coleoptera : Scarabaeidae) como indicador da recuperação ambiental em áreas afetadas pelo desastre ambiental de Mariana-Mg / Débora Caldeira do Amaral Gomes. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

71 f. : il.
Bibliografia: 45 - 56.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2026.
Orientador: Bruno Clarkson Mattos.

1. besouros rola-bostas. 2. bioindicadores. 3. restauração ecológica. 4. desastre ambiental. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

DIVERSIDADE DE SCARABAEINAE (INSECTA: COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) COMO INDICADOR DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS AFETADAS PELO DESASTRE AMBIENTAL DE MARIANA-MG

DÉBORA CALDEIRA DO AMARAL GOMES

"Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal"

Aprovada em 17 de julho de 2026

Comissão Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
REGINALDO AUGUSTO FARIAS DE GUSMAO
Data: 13/10/2026 12:06:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Reginaldo Augusto Farias de Gusmão (Dr., Etnobiologia e Conservação da Natureza) – UFRPE

gov.br Documento assinado digitalmente
MAYARA BARRETO DE SOUZA ARANTES
Data: 13/10/2026 12:42:57-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Mayara Barreto de Souza Arantes (Dra., Produção Vegetal) – UENF

gov.br Documento assinado digitalmente
MARCELITA FRANCA MARQUES
Data: 13/10/2026 10:54:34-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Marcelita França Marques (Dra., Ecologia e Recursos Naturais) – UENF

Coorientadora

gov.br Documento assinado digitalmente
BRUNO CLARKSON MATTOS
Data: 13/10/2026 12:24:26-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Bruno Clarkson Mattos (Dr., Ciências Biológicas) – UFPB

Orientador

“Para que vejam, e conheçam, e considerem, e entendam todos,
que a mão do Senhor fez isto, e que o Santo de Israel o criou.”
(Isaías 41:20)

AGRADECIMENTOS

Entre resumos, prazos, cafés e (muitos) momentos de dúvida, este trabalho finalmente ganhou forma, e nada disso teria sido possível sozinha. Ufa, consegui!

Como não começar agradecendo primeiramente ao meu Deus? Ele me sustentou e me permitiu chegar até aqui. Te louvo, te exalto e a Ti sou grata por tudo.

Ao meu esposo, Jhonathan Trindade, meu maior incentivador, por viver meus sonhos como se fossem seus. Esse título é nosso. Te amo. À minha filha, Ísis Gomes, minha Sunshine e meu maior amor, por iluminar meus dias e me motivar a seguir sempre em frente. Aos meus pais, Silvana Caldeira e Orlando Rodrigues, por tornarem esta conquista possível; aos meus sogros, irmãos, cunhados e sobrinhos, pelo carinho e apoio.

Aos amigos Maiclley Ferreira e Taymara Sabino, pelo incentivo para iniciar o mestrado, e, em especial, à Letícia Heitor, minha “pessoa”, e à Carla Pessanha, meu “presente” do IFF. Amo vocês.

Aos meus orientadores, Dra. Marcelita França Marques e Dr. Bruno Clarkson, minha sincera gratidão pelo acolhimento, confiança e ensinamentos. Levarei comigo todo o aprendizado, carinho e admiração. Esta conquista é nossa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e à UENF, e ao Museu de Entomologia Magali Hoffmann, ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), ao Laboratório de Entomologia e Fitopatologia (LEF), ao grupo de pesquisa do SIn, em especial à Pamela Cremonez e ao Halison Rosa, pelas contribuições para este trabalho. À Fundação Renova, à Ello Ambiental, ao André Tavares e ao Prof. Fernando Vaz de Mello, pelas contribuições à pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001– e da FAPERJ, pela concessão da bolsa que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

À banca, Reginaldo Gusmão e Mayara Arantes, pelas valiosas contribuições, e a todos que fizeram parte desta jornada, minha profunda gratidão.

Muito obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS v

LISTA DE TABELAS viii

RESUMO ix

ABSTRACT xi

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Revisão de literatura 5

1.1.1 Scarabaeidae Latreille, 1802 5

1.1.2 Relação entre Scarabaeinae e o solo: bioindicadores 7

1.1.3 Rompimento da Barragem do Fundão: impacto e monitoramento 11

2. OBJETIVOS 13

2.1 Objetivo geral 13

2.2 Objetivos específicos 13

3. MATERIAL E MÉTODOS 14

3.1 Áreas de estudo 14

3.2 Delineamento amostral 17

3.3 Amostragem de besouros Scarabaeinae 18

3.4 Triagem, identificação e depósito dos espécimes 19

3.5 Classificação das guildas funcionais 21

3.6 Análise de dados 21

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 25

4.1 Estrutura da comunidade geral de Scarabaeinae 25

4.2 Scarabaeinae: Fragmentos de Restauração Ativa x Natural 31

4.3 Guildas funcionais de Scarabaeinae: FRA X FRN 36

4.4 Scarabaeinae: Variação temporal 40

5. CONCLUSÕES 43

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 . Representação visual das três guildas funcionais dos Scarabaeinae: A, endocoprídeos; B, paracoprídeos e C, telecoprídeos. Ilustração elaborada por Halison Rosa. 6

Figura 2 . Mapa da localização dos pontos amostrais das áreas afetadas pelo desastre do rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro na Bacia do Rio Doce, MG. Elaboração: Pamela Cremonez. 14

Figura 3 . Tipo de áreas avaliadas no estudo: Fragmentos de Restauração Natural (A) e Fragmentos de Restauração Ativa (B), localizadas na Bacia do Rio Doce, MG.17

Figura 4 . Representação visual da distribuição dos pitfall nos vértices da parcela, com detalhamento de cada armadilha. Ilustração elaborada por Halison Rosa. 18

Figura 5 . Armadilha de queda (pitfall), com tampa protetora, utilizada para captura de besouros Scarabaeinae. 19

Figura 6 . Etapas do processamento laboratorial dos besouros Scarabaeinae coletados nas áreas de estudo. (A) Triagem dos espécimes, com organização dos indivíduos em grupos morfologicamente semelhantes em mantas entomológicas; (B) Identificação taxonômica dos espécimes sob microscópio estereoscópico. 20

Figura 7 . Curva de rarefação baseada na abundância de indivíduos da comunidade de Scarabaeinae coletados na Bacia do Rio Doce, MG. A curva em vermelho representa a riqueza de espécies estimada, enquanto as curvas em azul representam o intervalo de confiança de 95% da estimativa. 25

Figura 8 . Ranking das cinco espécies mais abundantes de Scarabaeinae registradas nos fragmentos amostrados na Bacia do Rio Doce-MG, com base na abundância. 29

Figura 9 . Besouros Scarabaeinae (rola-bosta) coletados nos fragmentos afetados pelo desastre da Bacia do Rio Doce, MG. Habitus dorsal dos espécimes representativos. A) Dichotomius nisus; B) Dichotomius opacus; C) Dichotomius quadrinodosus; D) Eurysternus calligrammus; E) Ontherus azteca; F) Onthophagus

haematopus; G) Onthophagus hircus; H) Phanaeus splendidulus; I) Pseudocanthon sp.1; J) Sylvicanthon obscurus; L) Trichillum externepunctatum. Escala 5 mm. 30

Figura 10 . Besouros Scarabaeinae (rola-bosta) coletados nos fragmentos afetados pelo desastre da Bacia do Rio Doce-MG. Habitus dorsal dos espécimes representativos. *A) Ateuchus pygidialis; B) Canthidium aterrimum; C) Canthon sp.3; D) Chalcocopris hesperus; E) Coprophanaeus bellicosus; F) Deltochilum brasiliense; G) Deltochilum furcatum; H) Deltochilum irroratum; I) Deltochilum rubripenne; J) Deltochilum sp.10; L) Dichotomius affinis; M) Dichotomius ascanius; N) Dichotomius irinus; O) Dichotomius laevicollis; P) Dichotomius mormon*. Escala 5 mm. 30

Figura 11 . Comparação da abundância (A) e da riqueza (B) da comunidade de Scarabaeinae entre os Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e os Fragmentos de Restauração Natural (FRN), na Bacia do Rio Doce-MG. Barras em verde-claro representam os FRA e barras em verde-escuro representam os FRN. 31

Figura 12 . Comparação da abundância média (A) e da riqueza média (B) da comunidade de Scarabaeinae nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN). Os resultados indicaram diferenças estatisticamente significativas (teste de Mann-Whitney para abundância, p = 0,029; teste t para riqueza, p = 0,022). 32

Figura 13 . Resultado da análise de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), baseada na matriz de abundância das espécies de Scarabaeinae e no índice de dissimilaridade de Bray–Curtis, para avaliar a variação na composição da comunidade entre as áreas afetadas pelo desastre ambiental na Bacia do Rio Doce, MG. 34

Figura 14 . Dendrograma da análise de agrupamento com base no Índice de Similaridade de Jaccard entre as comunidades de Scarabaeinae nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN) e nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) na Bacia do Rio Doce-MG, com base em dados de presença e ausência das espécies. Retângulos em verde-claro representam FRN e barras em verde-escuro representam FRA. 35

Figura 15 . Ranking das cinco espécies de Scarabaeinae mais abundantes registradas nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN) (A) e nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) (B), na Bacia do Rio Doce, MG. 36

Figura 16 . Comparação da proporção das guildas funcionais da comunidade de Scarabaeinae. Paracoprídeos (verde), Telecoprídeos (roxo) e Endocoprídeos (Marrom). 36

Figura 17 . Distribuição da abundância de indivíduos de cada guilda funcional de Scarabaeinae nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN), na Bacia do Rio Doce, MG. Barras em verde-claro representam FRA e barras em verde-escuro representam os FRN. 37

Figura 18 . Diagrama de Venn representando a distribuição das guildas funcionais de besouros amostradas nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN) e nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA), na Bacia do Rio Doce, MG. 39

Figura 19 . Abundância de Scarabaeinae registrada nas três campanhas amostrais, nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN) e nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA), na Bacia do Rio Doce, MG. Barras em verde-claro representam os FRN e barras em verde-escuro representam os FRA. 40

Figura 20 . Abundância das guildas da comunidade de Scarabaeinae nas campanhas de 2022 (azul-claro), campanha de 2023 (azul-médio) e campanha 2024 (azul-escuro). 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 . Principais cultivos registrados nos municípios da área de estudo antes do desastre (2015) e dez anos após o desastre (2025), segundo dados da EMATER-MG, [s.d.]. 16

Tabela 2 . Espécies de Scarabaeinae amostradas em áreas afetadas pelo desastre ambiental da Bacia do Rio Doce, MG. FRA: Fragmentos em Restauração Ativa; FRN: Fragmentos em Restauração Natural. S: número de espécies; N: número de indivíduos; GF: guilda funcional (P: Paracoprídeos; T: Telecoprídeos; E: Endocoprídeos). 27

Tabela 3 . Parâmetros ecológicos avaliados para a comunidade de Scarabaeinae amostrada nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN), na Bacia do Rio Doce, MG 33

RESUMO

GOMES, DÉBORA CALDEIRA DO AMARAL; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; julho de 2026; Diversidade de Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera: Scarabaeidae) como indicador da recuperação ambiental em áreas afetadas pelo desastre ambiental de Mariana-MG; Orientador: D.Sc. Bruno Clarkson Mattos; Coorientadora: D.Sc. Marcelita França Marques.

O rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG, provocou graves impactos sobre os ecossistemas terrestres, afetando diretamente a fauna edáfica e a dinâmica do solo. Dentre os organismos que podem atuar como bioindicadores de impactos ambientais, os besouros Scarabaeidae têm se destacado, devido à sua sensibilidade às condições do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a comunidade de Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera, Scarabaeinae) como indicadora da restauração de áreas afetadas pelo desastre ambiental da Bacia do Rio Doce (MG). A amostragem ocorreu nas estações chuvosas (2022–2024), com uso de armadilhas do tipo *pitfall* iscadas com fezes, dispostas em parcelas (30 × 30 m), distribuídas em 40 sítios impactados sob diferentes estratégias de restauração: 20 fragmentos de restauração natural (FRN) e 20 fragmentos de restauração ativa (FRA). Foram avaliados parâmetros ecológicos da comunidade (riqueza, abundância, diversidade, dominância, equitabilidade, composição e guildas funcionais). Foram amostrados 4.369 indivíduos, distribuídos em 48 espécies e 17 gêneros, com predominância de paracoprídeos (93,7%), seguidos por telecoprídeos (5,4%) e endocoprídeos (0,9%). Dentre os paracoprídeos, destaca-se *Onthophagus haematopus* Harold, 1875, como a espécie mais abundante (N = 1423). Os FRN apresentaram maior riqueza (S = 41) e abundância (N = 3.005), enquanto os FRA apresentaram maior diversidade (H’ = 2,349) e equitabilidade (J’ = 0,65). Entre 2022 e 2024, observou-se aumento da riqueza, da abundância e da diversidade, acompanhado da redução da dominância, evidenciando uma mudança temporal da comunidade de Scarabaeinae nos fragmentos em restauração, com respostas complementares entre as estratégias: os FRN associados ao restabelecimento quantitativo e os FRA associados a uma estrutura mais equilibrada. Dessa forma, os Scarabaeinae demonstram potencial como indicadores da qualidade ambiental e da eficácia da restauração, reforçando a importância do monitoramento contínuo da recuperação ecológica sobre a biodiversidade do solo.

Palavras-chave: besouros rola-bostas, bioindicadores; desastre ambiental.

ABSTRACT

GOMES, DÉBORA CALDEIRA DO AMARAL; M.Sc.; State University of the North Fluminense Darcy Ribeiro; July 2026; Diversity of Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera: Scarabaeidae) as an indicator of environmental recovery in areas affected by the Mariana-MG environmental disaster; Adviser: D.Sc. Bruno Clarkson Mattos; Co-Adviser: D.Sc. Marcelita França Marques.

The failure of the Fundão tailings dam in Mariana, Minas Gerais, Brazil, caused severe impacts on terrestrial ecosystems, directly affecting soil fauna and soil dynamics. Among the organisms that can act as bioindicators of environmental impacts, dung beetles (Scarabaeidae) have been widely recognized due to their sensitivity to soil conditions. Therefore, this study aimed to characterize the Scarabaeinae community (Insecta: Coleoptera, Scarabaeidae) as indicators of ecological restoration in areas affected by the environmental disaster in the Rio Doce Basin (Minas Gerais, Brazil). Sampling was conducted during the rainy season (2022–2024) using baited pitfall traps distributed within 30 × 30 m plots established in 40 impacted sites subjected to different restoration strategies: 20 Natural Restoration Fragments (FRN) and 20 Active Restoration Fragments (FRA). Community ecological parameters were evaluated (species richness, abundance, diversity, dominance, evenness, composition, and functional guilds). A total of 4.369 individuals belonging to 48 species and 19 genera were collected, with a predominance of paracoprid species (93.7%), followed by telecoprids (5.4%) and endocoprids (0.9%). Among the paracoprids*, Onthophagus haematopus* Harold, 1875 was the most abundant species (N = 1.423). Natural Restoration Fragments showed higher species richness (S = 41) and abundance (N = 3,005), whereas Active Restoration Fragments exhibited higher diversity (H' = 2.349) and evenness (J’ = 0.65). Between 2022 and 2024, species richness, abundance, and diversity increased, while dominance decreased, indicating a progressive temporal change in the Scarabaeinae community in restored areas, with complementary responses between restoration strategies: natural regeneration (FRN) was associated with quantitative recovery, whereas active restoration (FRA) was associated with a more balanced community structure. These findings highlight the importance of using multiple community metrics to assess environmental recovery and reinforce the potential of Scarabaeinae as indicators of environmental quality and restoration effectiveness.

Keywords: dung beetle; bioindicators; ecological restoration; environmental disaster.

1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental causada por atividades antrópicas compromete a biodiversidade, a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, tornando a restauração ecológica uma das principais estratégias para reverter esses impactos. A restauração ecológica consiste em promover a recuperação de ecossistemas degradados, conduzindo-os a uma trajetória de regeneração que favoreça sua adaptação às mudanças ambientais e a manutenção das espécies que os compõem (Rosenfield e Müller, 2020). Entretanto, um dos principais desafios desse processo é avaliar se as intervenções realizadas promovem efetivamente a recuperação das comunidades biológicas e dos processos ecológicos, uma vez que projetos de restauração nem sempre restabelecem integralmente a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Holl, 2023). Nesse contexto, o monitoramento ecológico torna-se uma etapa fundamental para compreender a trajetória de recuperação dos ecossistemas restaurados. O sucesso da restauração florestal pode ser avaliado por meio do monitoramento ecológico, utilizando indicadores da vegetação e da fauna (Piaia et al., 2021), que refletem a qualidade dos habitats devido à sua sensibilidade às variações das condições ambientais, ao indicarem alterações que favorecem ou limitam seu desenvolvimento e permanência no ecossistema (Mazón et al., 2019).

Entre os grupos amplamente utilizados para essa finalidade destacam-se os besouros Scarabaeidae (Insecta: Coleoptera) que desempenham papéis ecossistêmicos fundamentais, como a decomposição de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas agrícolas e dispersão de sementes (Bang et al., 2005; Nichols et al., 2008). Esses besouros são popularmente conhecidos como “rola-bostas”, e sua presença nos ecossistemas está intimamente ligada à saúde do solo, por auxiliarem na rápida incorporação dos elementos dos excrementos de animais e no processamento da matéria orgânica em decomposição (Cambefort, 1991). Ao construir galerias, esses besouros promovem o aumento da absorção de água e, ao enterrar as fezes, eles incorporam diversos nutrientes, agindo como promotores eficientes de fertilização natural do solo (Davis et al., 2001; Resende, 2012). Esses comportamentos dos besouros facilitam a ciclagem de nutrientes no solo e o desenvolvimento da vegetação no local, podendo aumentar a reprodução das plantas nativas e cultivadas (Brussaard, 1997). Dessa forma, a

distribuição e a diversidade de Scarabaeidae podem ser indicadores da qualidade de habitat e, dada a importância para a saúde do solo, torna-se fundamental avaliar como desastres ambientais podem impactar suas populações (Lavelle et al., 2006), e como essas populações podem responder a esforços de restauração ecológica.

Diante disso, as técnicas aplicadas na restauração ecológica podem variar significativamente, dependendo da intensidade e duração das perturbações, das formas de uso da terra que alteraram a paisagem e da disponibilidade de recursos (Schneider et al., 2023). Os métodos compreendem a restauração ativa, na qual são realizados plantios com mudas de espécies arbóreas nativas. Trata-se de uma estratégia importante de restauração florestal e provavelmente a mais usada em paisagens degradadas e intensamente fragmentadas (Crouzeilles et al., 2017). A restauração natural (passiva) baseia-se na regeneração natural da vegetação após a remoção ou redução das pressões antrópicas, por meio do isolamento da área e da condução da regeneração natural, aproveitando a resiliência e os processos ecológicos ainda presentes no ecossistema (Brancalion et al., 2015; Coelho et al., 2025). Embora a restauração ativa e a natural tenham como objetivo recuperar ecossistemas degradados, ambas podem seguir trajetórias ecológicas distintas, resultando em diferenças na composição das comunidades e no restabelecimento dos processos ecológicos (Poorter et al., 2021; Keller et al., 2023). Dessa forma, compreender como essas estratégias influenciam a recuperação da biodiversidade é fundamental para avaliar sua efetividade, tornando o monitoramento de organismos bioindicadores uma importante ferramenta para esse processo (Mazón et al., 2019; Manhães et al., 2022).

Segundo o IBAMA, o desastre ambiental ocorrido na Bacia do Rio Doce em decorrência do rompimento da barragem do Fundão, em Mariana (MG), em 2015, sob responsabilidade da empresa Samarco Mineração S/A, que tinha como acionistas a companhia anglo-australiana BHP Billiton Ltda. e a VALE S.A., resultou no derramamento de lama de rejeitos proveniente da mineração. Essa lama foi arrastada mecanicamente, destruindo áreas agrícolas e de criação de animais, vegetação nativa, além de distritos e vilas (Brasil, 2015). Esse rompimento é considerado um dos maiores desastres ambientais da história do Brasil, com efeitos devastadores que ainda estão sendo investigados (Zhouri et al., 2016). Sabe-se que a passagem dos rejeitos, além de ocasionar a supressão de extensas áreas de

vegetação, promoveu, nos locais onde houve deposição de material, alterações da superfície, com substituição de solos naturais por rejeitos, normalmente mais finos, compactos e inférteis (Embrapa, 2016).

Nas áreas diretamente atingidas pelos rejeitos na Bacia do Rio Doce, ações de monitoramento e reparação estão sendo realizadas (Godoy e Dias, 2021). Essas ações foram implementadas com o objetivo de acompanhar os impactos do desastre sobre a comunidade e a biodiversidade, e os processos de recuperação ecológica. Dentre essas iniciativas, foi estabelecido o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Terrestre da Bacia do Rio Doce (PMBT), que tem como objetivo reunir dados ambientais obtidos de forma sistemática em áreas afetadas e não afetadas pelo desastre. Inicialmente, esse monitoramento foi conduzido pela Fundação Renova, extinta em 2024. Atualmente, as ações passaram a ser conduzidas no âmbito do Novo Acordo da Bacia do Rio Doce, homologado pelo Supremo Tribunal Federal (STF) em novembro de 2024. O acordo estabeleceu uma nova fase na remediação da Bacia do Rio Doce, formalizando o encerramento das atividades da Fundação Renova e a transferência dos programas remanescentes para a Samarco ou para as autoridades públicas competentes.

A restauração florestal nas áreas impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão é fundamental para recuperar os ecossistemas degradados, restabelecendo os serviços ecossistêmicos fundamentais (Plano Ekos, 2020). Avaliar o sucesso da restauração florestal é igualmente crucial, pois permite monitorar a eficácia das intervenções realizadas, identificar possíveis falhas e ajustar as estratégias de manejo (Guerin et al., 2015). A avaliação do sucesso envolve indicadores como a recuperação da biodiversidade, a melhoria da qualidade do solo e a reestruturação das comunidades biológicas, garantindo que os ecossistemas restaurados sejam funcionais e autossustentáveis (Martins et al., 2015; Vaz, 2020).

Analisar a estrutura da comunidade dos Scarabaeinae pode revelar alterações na abundância, na riqueza e na composição associadas à degradação persistente ou aos estágios de restauração. Este estudo visa analisar a presença desses besouros nas áreas impactadas, fornecendo dados importantes para monitorar a regeneração do solo e orientar futuras estratégias de recuperação ambiental. Os resultados obtidos contribuirão não apenas para o avanço no campo científico, mas também terão um impacto direto na sociedade, fornecendo informações que podem

melhorar a recuperação de áreas degradadas, promover práticas agrícolas sustentáveis e contribuir para a conservação da biodiversidade.

1.1 Revisão de literatura

1.1.1 Scarabaeidae Latreille, 1802

A ordem Coleoptera é amplamente reconhecida por sua diversidade. Estima-se que existam 350.000 espécies de besouros conhecidas, representando cerca de 40% das espécies de insetos conhecidas (Thakkar e Parik, 2016; Silva, 2026). Os besouros da família Scarabaeidae, popularmente conhecidos como “escaravelhos” ou “rola-bostas”, constituem uma família muito diversa, composta por 13 subfamílias, das quais Scarabaeinae se destaca tanto em termos de riqueza quanto de guildas funcionais (Souza, 2025). Scarabaeinae inclui 12 tribos, 234 gêneros e aproximadamente 7.000 espécies descritas atualmente em todo o mundo (Schoolmeesters, 2024). Na região neotropical, esta subfamília possui registro de aproximadamente nove tribos, 70 gêneros e 1.250 espécies (Hanski & Cambefort 1991). No Brasil, 808 espécies de Scarabaeinae foram registradas, distribuídas em 69 gêneros, das quais 217 são endêmicas do país (Costa et al., 2009; Vaz-de-Mello e Bordin, s.d.). Esses dados evidenciam sua ampla diversidade e distribuição, refletindo seu papel essencial em processos ecológicos (Carvalho e Pereira, 2012).

Esses besouros são caracterizados pela amplitude de tamanho, que pode variar entre 1,4 e 180 mm, pela forma corporal robusta e ovalada e pela diversa coloração corporal, com espécies de marrom-escuro a verde-iridescente, com brilhos metálicos (Morón e Márquez, 2012). Além disso, também apresentam cabeça proporcionalmente pequena; dimorfismo sexual presente em muitas espécies, com os machos exibindo projeções cefálicas e protorácicas em forma de “cornos”; antenas lamelo-clavadas, com o escapo mais curto que o flagelo; pernas com projeções nas tíbias que configuram estruturas especializadas para a escavação; fórmula tarsal 5-5-5, com garras bem desenvolvidas; espiráculos respiratórios localizados nas laterais dos esternitos, nos três últimos segmentos abdominais (Nichols et al., 2008; Costa-Silva et al., 2024).

Os Scarabaeinae são reconhecidos por seu comportamento de manipulação das fezes de outros animais, que são coletadas e moldadas em bolas, servindo como fonte de alimento e local para o desenvolvimento das larvas (Oliveira, 2023). Desta forma, de maneira geral, o hábito alimentar dos besouros rola-bostas é detritívoro, também podendo consumir carcaças animais e frutos em decomposição; mas a maioria das espécies é coprófaga, alimentando-se de excrementos de

vertebrados, tanto na fase larval quanto na adulta (Hanski e Cambefort, 1991; Slade et al., 2011).

Devido às diferenças no comportamento de manipulação do recurso alimentar, as espécies podem ser agrupadas em três categorias funcionais: os endocoprídeos, que vivem dentro ou logo abaixo do recurso alimentar sem movê-lo; os paracoprídeos, que transportam o recurso para túneis escavados abaixo do depósito de alimento; e os telecoprídeos, que carregam o recurso para distâncias maiores, geralmente moldando-o em bolas que são enterradas posteriormente (Lima et al., 2015) (**Figura 1**). Segundo Silva (2022), o ato de enterrar o alimento no solo é uma forma de alocar recursos que ajuda os besouros a diminuírem a disputa por comida e espaço, tanto entre eles, quanto com outros insetos, além de proteger o alimento de condições adversas, como o calor forte e a seca.

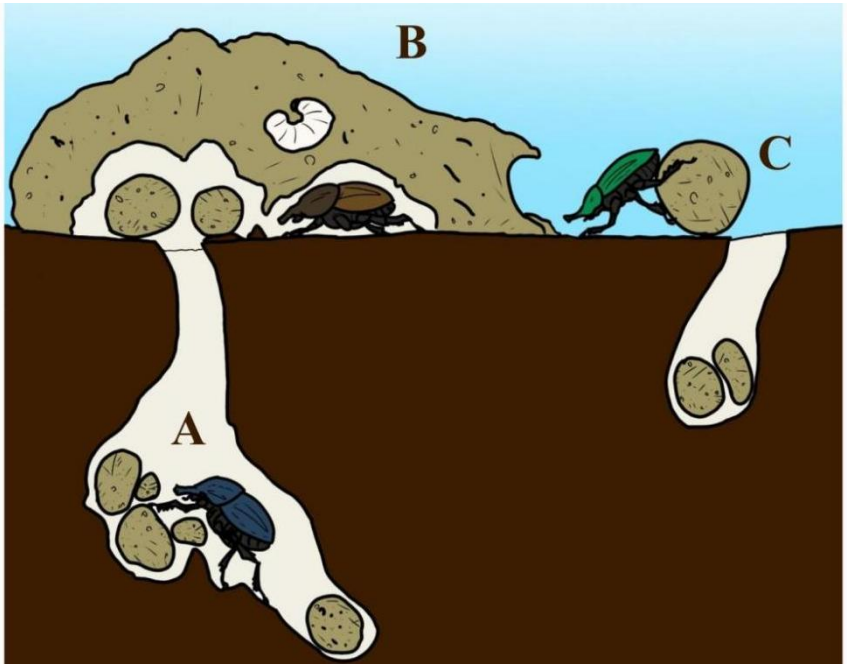


Figura 1. Representação visual das três guildas funcionais dos Scarabaeinae: **A**, endocoprídeos; **B**, paracoprídeos e **C**, telecoprídeos. Ilustração elaborada por Halison Rosa.

Besouros rola-bostas paracoprídeos e telecoprídeos desempenham um papel importante na dispersão secundária de sementes, durante o processo de nidificação, devido à rápida alocação de recursos fecais (Griffiths et al., 2015). Além

de sua contribuição para a decomposição de matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e o revolvimento do solo, o hábito desses besouros de cavar túneis para nidificação melhora a aeração, a infiltração e a retenção de água, auxiliando na manutenção dos ecossistemas (Silva e Silva, 2011) e no controle de parasitas, favorecendo a regeneração da vegetação (Louzada, 2008). Estudos apontam que a predominância de espécies paracoprídeas, também denominadas escavadoras, constitui um padrão comum em comunidades de Scarabaeinae da região Neotropical (Halffter et al., 1992; Louzada e Lopes, 1997). A diversidade de hábitos alimentares e comportamentais destaca esses besouros como ferramentas valiosas em estudos ecológicos, reforçando seu potencial como indicadores da qualidade de habitats (Halffter e Favila, 1993).

Além dessa ampla diversidade funcional nas cadeias alimentares, outras características que também contribuem para destacar os besouros rola-bostas como bioindicadores são: (a) as altas densidades; (b) o uso de metodologias de baixo custo e fácil execução para sua amostragem; e (c) a resposta sensível às alterações na paisagem e no habitat (Nichols et al., 2007; Filgueiras et al., 2015). Além disso, as espécies são relativamente fáceis de identificar em comparação com outros grupos de besouros (Gardner et al., 2008).

A estruturação da comunidade desses besouros bioindicadores pode ser influenciada por diversos fatores, como a disponibilidade de fezes como recurso alimentar (Davis e Philips, 2009), intensidade de luz e umidade do ambiente (Nichols et al., 2008) e tipo de solo (Gardner et al., 2008). Esses organismos também são sensíveis à fragmentação do meio ambiente, ao isolamento em remanescentes de mata, às alterações no dossel e na diversidade da vegetação em florestas tropicais, além de outros impactos ambientais decorrentes do uso do solo (Doube, 1991).

1.1.2 Relação entre Scarabaeinae e o solo: bioindicadores

A fauna edáfica é constituída por diversas espécies de organismos invertebrados que apresentam ampla variação de tamanho, abrangendo desde organismos microscópicos pertencentes à microfauna até indivíduos com maiores dimensões, incluídos na macrofauna (Brown et al., 2015). As características físicas do solo são fatores que podem estar intimamente relacionados com a diversidade

dos organismos que ali habitam, como granulometria, porosidade, processos relacionados à infiltração, absorção e movimentação da água no solo (Lepsch, 2011; Cordeiro, 2013).

A variação das características ambientais dos ecossistemas, decorrente de fatores abióticos, bióticos e antrópicos, pode influenciar a estrutura das comunidades de macrofauna edáfica, incluindo os besouros rola-bostas, ao longo do tempo e do espaço (Halffter e Favila, 1993; Freitas et al., 2017). Para lidar com isso, os organismos desenvolveram mecanismos moduladores, abrangendo adaptações fisiológicas, químicas e comportamentais (Ricklefs e Relyea, 1996).

Nesse cenário dinâmico, os besouros rola-bostas desempenham funções vitais, como estruturação, aeração, revolvimento e decomposição da matéria orgânica, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e a formação de túneis no solo (Machado et al., 2015). Esses organismos ocupam diferentes níveis tróficos e influenciam direta e indiretamente a produção primária, sendo essenciais ao funcionamento dos ecossistemas (Silva et al., 2007). Torábio et al. (2024) observaram que besouros coprófagos são amplamente distribuídos em diferentes ecossistemas, com abundância e atividade influenciadas por fatores ambientais, como textura do solo, temperatura, cobertura vegetal e uso da terra, sendo mais abundantes e ativos em solos arenosos e regiões de menores latitudes.

Nos solos preservados, os Scarabaeinae encontram um ambiente heterogêneo e rico em vegetação nativa e matéria orgânica, favorecendo sua sobrevivência e dispersão, o que se reflete na grande diversidade encontrada nesse tipo de habitat (Sampaio, 2010; Baretta et al., 2011). Essa relação evidencia a importância da compreensão da diversidade dos Scarabaeinae em diferentes contextos ambientais, uma vez que algumas espécies estão intimamente associadas a fatores ambientais, como tipo de vegetação, microclima e uso do solo em ambientes florestados e preservados (Mcgeoch et al., 2002).

Silva (2022) investigou as respostas das comunidades de Scarabaeinae à modificação dos usos do solo na Amazônia Oriental, onde habitats mais preservados foram associados a maior abundância, riqueza e composição diferenciada de besouros quando comparados com áreas de pastagens e eucaliptos. O autor conclui que há necessidade de mais estudos relacionados a este grupo de besouros e

destaca o uso de Scarabaeinae como indicadores eficazes para monitoramento ambiental.

Nesse contexto, o uso do solo também pode ao mesmo tempo impor desafios à comunidade de Scarabaeinae, que, em áreas impactadas, é restringida por solos com ausência de vegetação nativa e/ou com alta concentração de contaminantes (Silva et al., 2007), sendo ainda mais afetada pela poluição urbana, pelo uso de fertilizantes e resíduos orgânicos e pela fragmentação de habitats, o que compromete a decomposição de matéria orgânica nesses ambientes (Davis e Philips, 2005; Baretta, 2007; Louzada, 2008). Além disso, a compactação do solo pode dificultar a escavação de galerias e reduzir a diversidade desses organismos (Moço et al., 2005). Destaca-se ainda que, a degradação ambiental amplia esses impactos, comprometendo as populações desses besouros e prejudicando os serviços ambientais prestados, essenciais para a manutenção da qualidade ambiental do solo e a conservação da biodiversidade (Braga et al., 2013; Brown et al., 2015).

A vulnerabilidade dos Scarabaeinae aos solos degradados/impactados é causada também pela redução da matéria orgânica e da cobertura vegetal (Klein, 1989; Halffter et al., 1992). Ambientes assim comprometem os recursos essenciais para o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução dos besouros, e se tornam menos favoráveis à sua ocorrência (Favila e Halffter, 1997; Gliessman, 2001; Costa et al., 2009). Nesse contexto, vários trabalhos têm ressaltado a relevância desses besouros como indicadores da qualidade ambiental em diversos ecossistemas, como demonstra o estudo apresentado por Nishiwaki et al. (2017), no qual foi investigada a presença de espécies como *Dichotomius nisus* (Olivier, 1719) e *Dichotomius aff. laevicollis* (Felsche, 1901) no Parque Nacional do Catimbau (PE), destacando que essas espécies apresentaram respostas variadas às alterações ambientais, mas ambas revelaram potencial como indicadores de condições ambientais.

Uma forma de minimizar o impacto e ajudar na recuperação dos solos dos ecossistemas degradados é a utilização de estratégias de restauração ambiental, com o objetivo de restabelecer a biodiversidade e, consequentemente, a funcionalidade ecológica (Instituto Escolhas, 2023). Estudos realizados em áreas tropicais restauradas demonstram que a composição da comunidade de Scarabaeinae tende a se aproximar gradualmente daquela encontrada em áreas

conservadas ao longo do processo de restauração, embora a recuperação da riqueza de espécies e da diversidade funcional possa ocorrer de forma mais lenta (Audino et al., 2014). Existem diversos métodos de recuperação ambiental de áreas impactadas, como a restauração ativa, caracterizada pela realização de plantio de mudas ou semeadura, e a restauração natural, baseada no isolamento da área para favorecer a regeneração natural da vegetação (Silva, 2022).

Embora a restauração ativa seja frequentemente considerada a principal estratégia para recuperação de áreas degradadas, estudos recentes têm demonstrado que áreas em regeneração natural podem apresentar desempenho semelhante ou até superior na recuperação ecológica. Crouzeilles et al. (2017), em uma meta-análise envolvendo 133 estudos, evidenciaram que sistemas de regeneração natural superaram áreas submetidas à restauração ativa quanto à recuperação da biodiversidade, incluindo plantas, aves e invertebrados, e de atributos estruturais da vegetação, como cobertura, densidade, serapilheira, biomassa e altura.

Nesse contexto, os Scarabaeinae desempenham um papel crucial, contribuindo por meio de suas atividades de escavação e decomposição, cujas ações são importantes para a retomada das funções de um solo e de um ambiente saudáveis (Gandolfi e Rodrigues, 2007). Por meio de suas ações como dispersores secundários de sementes, ao rolar e enterrar os excrementos de mamíferos, os besouros rola-bostas favorecem a germinação e auxiliam na recuperação das florestas (Almeida e Louzada, 2009). Desta forma, em ecossistemas afetados por degradação ambiental, o papel desses besouros na avaliação de práticas sustentáveis e da recuperação de áreas degradadas é amplamente estudado (Chung et al., 2000; Pearce e Venier, 2006). Monitorar esses besouros contribui para compreender os impactos de longo prazo na biodiversidade e na qualidade ambiental do solo. Assim, o estudo contínuo desses besouros fornece dados essenciais para auxiliar nas estratégias de restauração, garantindo a recuperação sustentável da qualidade ambiental do solo e da biodiversidade.

1.1.3 Rompimento da Barragem do Fundão: impacto e monitoramento

O maior desastre ambiental do Brasil e o maior do mundo, envolvendo barragens de rejeitos, ocorreu em 5 de novembro de 2015, quando a barragem do Fundão, localizada na unidade industrial de Germano, no subdistrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, na região Central de Minas Gerais, se rompeu (CNDH, 2016). Com isso, aproximadamente 55 milhões de metros cúbicos de lama e rejeitos de minério de ferro foram despejados na Bacia do Rio Doce, percorrendo mais de 40 cidades em Minas Gerais e no Espírito Santo, ocasionando a destruição do subdistrito de origem e de Paracatu de Baixo, mortes e o desalojamento de pessoas, além de gerar danos econômicos e ambientais em toda a bacia (Zuba, 2016; Jaborandy et al., 2023). A barragem de rejeitos era de responsabilidade da mineradora Samarco, empresa controlada pela Vale do Rio Doce e pela BHP Billiton (CNDH, 2016). Em questões ambientais, o despejo de rejeitos resultou no assoreamento e contaminação do leito de cursos d'água (como Rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e Rio Doce), na alteração das propriedades físico-químicas da cobertura do solo, na destruição do habitat e na mortandade em massa da fauna terrestre e aquática, comprometendo a biodiversidade local (CNDH, 2016; Borges, 2018; Vaz, 2020).

Como parte do conjunto de iniciativas desse plano de ação, destaca-se o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Terrestre (PMBT) da Bacia do Rio Doce, que reuniu dados ambientais obtidos de forma sistemática em áreas afetadas e não afetadas pelo desastre, inicialmente baseado na Avaliação Ecológica Rápida (AER) e na metodologia RAPELD (Plano Ekos, 2020). No entanto, os resultados iniciais indicaram limitações quanto à resposta às questões propostas, o que levou à revisão dos princípios, métodos e indicadores do monitoramento, culminando na reformulação do programa em alinhamento às diretrizes do IBAMA, ICMBio e Painel Rio Doce. Para a elaboração técnica do programa reformulado, a Fundação Renova contratou o Instituto Ekos Brasil, enquanto a execução das atividades de monitoramento foi atribuída às empresas Bicho do Mato Meio Ambiente (primeiro ano do estudo) e Ello Ambiental Consultoria (segundo ao quinto ano), responsáveis pelas ações de monitoramento de fauna, flora e solos (Ello Ambiental, s.d.)

Em 2016, a União e os governos dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo firmaram o Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC), com o

objetivo de estruturar a gestão dos impactos sociais e ambientais decorrentes do desastre (CNDH, 2016). O acordo estabeleceu a criação da Fundação Renova, responsável pela execução e monitoramento de 42 programas de reparação e compensação da Bacia do Rio Doce. Dentre as disposições do TTAC, destaca-se a cláusula 168, que trata da avaliação dos impactos sobre espécies terrestres ameaçadas de extinção, subsidiando a elaboração do Plano de Ação para Conservação da Biodiversidade Terrestre, iniciado em 2019 (Plano Ekos, 2020).

O Plano de Trabalho Ekos, desenvolvido no contexto das ações de monitoramento ambiental na Bacia do Rio Doce, propôs o acompanhamento da fauna de vertebrados e invertebrados como ferramenta para avaliação dos impactos ambientais e dos processos de recuperação das áreas atingidas pelo desastre. Para o monitoramento de invertebrados, foram indicados grupos de insetos pertencentes a diferentes guildas alimentares, incluindo besouros Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). Os Scarabaeinae destacam-se por serem insetos detritívoros que forrageiam e nidificam no solo, podendo refletir alterações ambientais relacionadas à contaminação e à qualidade ambiental do solo, tanto pelo contato direto com o substrato quanto pelo uso de fezes e carcaças de animais contaminados (Plano Ekos, 2020).

Em novembro de 2024, o Novo Acordo do Rio Doce, firmado por Samarco, Vale S.A., BHP Brasil, União, governos de Minas Gerais e Espírito Santo, Ministérios Públicos Federal e Estaduais, Defensorias Públicas e outros órgãos públicos, substituiu o TTAC e estabeleceu novas bases para a reparação, a fim de contemplar medidas para alcançar a reparação e a compensação dos danos, de maneira eficiente e tecnicamente adequada (Reparação Bacia do Rio Doce, 2024). Após a extinção da Fundação Renova, em 2024, as ações de monitoramento passaram a ser executadas pela nova estrutura responsável pela continuidade das medidas reparatórias (Reparação Bacia do Rio Doce, 2024).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar a comunidade de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) como indicadora da recuperação de áreas afetadas pelo desastre ambiental de Mariana-MG, avaliando o sucesso de processos distintos de restauração sobre a comunidade dos besouros.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a estrutura geral da comunidade de Scarabaeinae nas áreas amostradas, considerando riqueza, abundância, diversidade, equitabilidade, dominância e composição de espécies;
- Analisar comparativamente dados ecológicos da comunidade de Scarabaeinae entre os fragmentos de restauração ativa e natural amostrados;
- Classificar as espécies registradas em guildas funcionais e analisar a distribuição dessas guildas entre os fragmentos de restauração ativa e natural;
- Avaliar a variação temporal da comunidade de Scarabaeinae, verificando mudanças nos dados ecológicos ao longo do processo de recuperação ambiental.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas de estudo

O estudo foi realizado em diversas áreas afetadas pelo desastre ambiental relacionado ao despejo de rejeitos de minério de ferro ocorrido no Complexo Industrial de Germano, no subdistrito de Bento Rodrigues, em Mariana, Minas Gerais (20º22'40"S; 43º24'58"W). Após o desastre, os rejeitos percorreram diversos municípios da Bacia do Rio Doce, incluindo Mariana, Barra Longa e Rio Doce, sendo Mariana o município mais atingido (**Figura 2**).

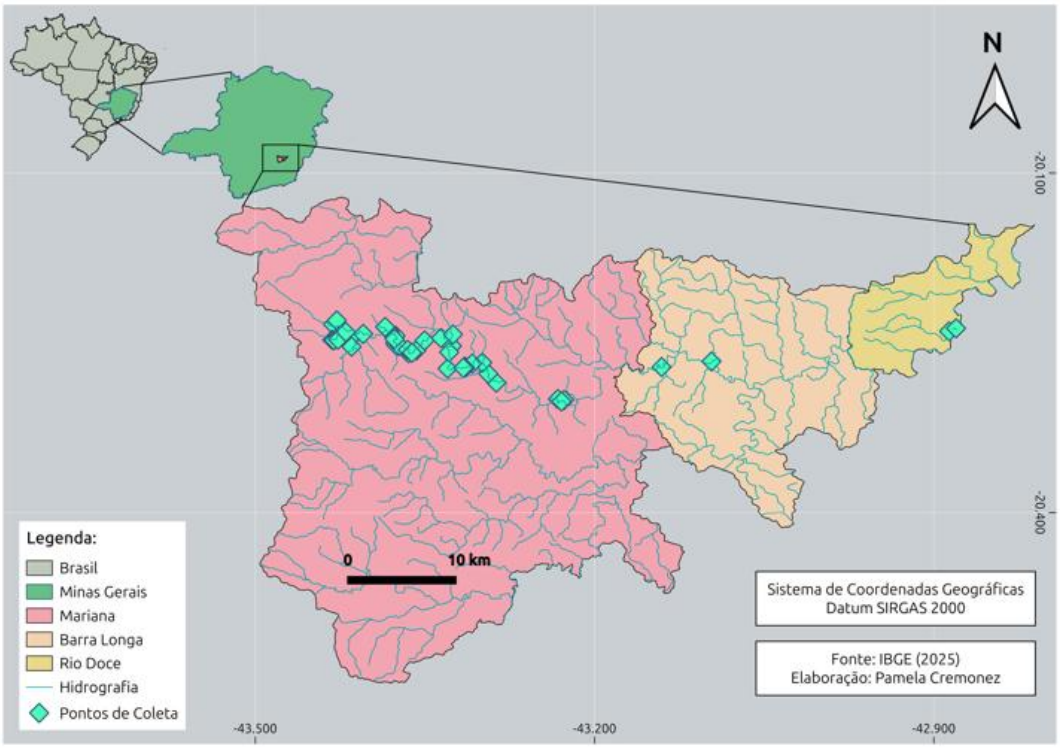


Figura 2. Mapa da localização dos pontos amostrais das áreas afetadas pelo desastre do rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro na Bacia do Rio Doce, MG. Elaboração: Pamela Cremonez.

Segundo o IBGE (2022), Mariana tem 61.387 habitantes e uma densidade de 51,4 habitantes por km². A economia do município é fortemente influenciada pela mineração, com um PIB de R$ 3.697.454 mil e PIB per capita de R$ 68.245 (IBGE, 2022). Embora a mineração seja a principal atividade econômica, o município também possui produção agrícola e atividades rurais associadas à agricultura familiar (Singulano et al., 2023). Mariana situa-se na região do Quadrilátero Ferrífero,

e tem relevo montanhoso, com altitude média de 712 m, e solos alterados pela mineração (Souza et al., 2005). O clima varia conforme a altitude: nas áreas mais baixas, predomina o clima Cwa (verões quentes e úmidos, invernos secos) e, nas áreas mais altas, predomina o Cwb (verões amenos e invernos secos) (Strahler, 1963). A precipitação média anual é de 1.800 mm, com maior precipitação entre dezembro e fevereiro (Baltazar e Raposo, 1993).

Barra Longa é um município do estado de Minas Gerais, situado na região da Zona da Mata, a 175 km de Belo Horizonte. Está localizado na microrregião de Ponte Nova. Barra Longa foi o único município do estado que teve a área urbana atingida pelo rompimento da barragem de Fundão em 2015. Esse fato pode ser atribuído à proximidade do centro da cidade com as margens do Rio Gualaxo do Norte, afluente do Rio Doce (BRASIL, 2015, p. 3). Sua população no último censo demográfico, realizado em 2022, era de 5.666 pessoas. O município possui área territorial de aproximadamente 383,628 km², situa-se nas coordenadas geográficas 20°16’58” S e 43°02’27” O e apresenta densidade demográfica de 14,77 habitantes por km². O PIB per capita em 2023 foi de R$ 17.955,57 (IBGE, 2022).

O município de Rio Doce está localizado na mesorregião da Zona da Mata Mineira e na microrregião de Ponte Nova, no estado de Minas Gerais, a aproximadamente 222 km da capital, Belo Horizonte, e a 26 km de Ponte Nova. O município possui área territorial de aproximadamente 112,09 km², com coordenadas centrais de 20º14’42” S e 42º53’44” O, apresentando relevo predominantemente montanhoso, com altitude variando entre 421 e 899 m. O clima da região é classificado como tropical de altitude, com precipitação média anual de 1.670,3 mm e temperatura média anual de 18,5°C. Segundo dados do IBGE (2022), a população registrada no Censo de 2022 era de 2.484 habitantes, resultando em densidade demográfica de aproximadamente 22,16 hab./km². A economia do município é baseada principalmente nas atividades comerciais e na pecuária, que representam importantes setores de geração de renda local (IBGE, 2022). Entre os principais empreendimento locais, destaca-se a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, com capacidade instalada de 140 MW (Samarco, [s.d.]).

Após o rompimento da Barragem de Fundão, diversas áreas diretamente afetadas pelos rejeitos passaram a integrar programas de reparação e restauração ambiental ao longo da Bacia do Rio Doce. Essas ações envolveram diferentes

estratégias de recuperação da vegetação e do solo, resultando em áreas sob distintos estágios e métodos de restauração, considerados no delineamento deste estudo (Plano Ekos, 2020).

Os municípios contemplados neste estudo apresentam histórico de utilização agrícola diversificada. Informações fornecidas pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER-MG, [s.d.]) indicam que, antes do rompimento da barragem de Fundão, em 2015, as áreas agrícolas de Barra Longa, Mariana e Rio Doce eram ocupadas por diferentes culturas de interesse econômico. Em Barra Longa, predominavam cultivos de banana, cana-de-açúcar destinada à indústria, eucalipto, feijão, goiaba, mandioca e milho. No município de Mariana, destacavam-se cultivos de banana, café arábica, cana-de-açúcar, eucalipto, feijão, mandioca, milho e sorgo forrageiro. Já em Rio Doce, observava-se maior diversidade agrícola, incluindo abacaxi, alface, banana, café arábica, cana-de-açúcar, couve, eucalipto, feijão, laranja, mandioca, maracujá, milho e quiabo.

Dez anos após o desastre (2025), a maior parte das culturas registradas anteriormente permaneceu presente nos municípios avaliados, embora algumas modificações tenham sido observadas. Em Barra Longa, foram registrados cultivos de banana, cana-de-açúcar para fins industriais e forrageiros, eucalipto, feijão, goiaba, mandioca de mesa, maracujá e milho. Em Mariana, permaneceram as culturas de café arábica, cana-de-açúcar, eucalipto, feijão, mandioca e milho, enquanto o sorgo forrageiro não foi registrado. Em Rio Doce, foram observados cultivos de alface, banana, cana-de-açúcar forrageira, couve, eucalipto, feijão, laranja, mandioca, maracujá, milho e quiabo. Essas informações foram utilizadas para caracterizar o contexto produtivo dos municípios inseridos na área de estudo e compreender o histórico recente de uso e ocupação do solo na região (**Tabela 1**).

Tabela 1. Principais cultivos registrados nos municípios da área de estudo antes do desastre (2015) e dez anos após o desastre (2025), segundo dados da EMATER-MG, [s.d.].

Municípios	Cultivos em 2015	Cultivos em 2025
Barra Longa	Banana (outras), banana-prata, cana-de-açúcar (indústria), eucalipto, feijão 1ª safra, goiaba, mandioca (indústria), milho (verão) e milho silagem.	Banana (outras), banana-prata, cana-de-açúcar (forrageira e indústria), eucalipto, feijão 1ª safra, goiaba, mandioca de mesa, maracujá, milho (verão) e milho silagem.

Mariana	Banana-prata, café arábica sequeiro, cana-de-açúcar (indústria), eucalipto, feijão 1ª safra, mandioca (indústria), milho (verão), milho silagem e sorgo forrageiro.	Café arábica sequeiro, cana-de-açúcar (forrageira e indústria), eucalipto, feijão 1ª safra, mandioca (indústria), milho (verão) e milho silagem.
Rio Doce	Abacaxi, alface, banana (outras), café arábica sequeiro, cana-de-açúcar (indústria), couve, eucalipto, feijão 1ª safra, laranja, mandioca de mesa, maracujá, milho (verão), milho silagem e quiabo.	Alface, banana (outras), cana-de-açúcar (forrageira), couve, eucalipto, feijão 1ª safra, laranja, mandioca de mesa, maracujá, milho silagem, milho verde e quiabo.

3.2 Delineamento amostral

Na área de estudo, correspondente ao trecho entre Fundão e a UHE Risoleta Neves, na Bacia do Rio Doce, dois tipos de área foram considerados no delineamento amostral (Plano Ekos, 2020). As áreas selecionadas corresponderam às localidades impactadas diretamente pelos rejeitos de mineração, submetidas a diferentes estratégias de restauração ambiental: restauração ativa e restauração natural (**Figura 3**). A restauração natural (passiva) baseia-se no isolamento das áreas e na regeneração espontânea da vegetação, sendo aplicada em locais com potencial de regeneração. Já a restauração ativa é utilizada em áreas mais degradadas, envolvendo principalmente o plantio de mudas e/ou sementes de espécies nativas de recobrimento e de diversidade, introduzidas de forma escalonada ou não, além de práticas de manejo, como o controle de gramíneas exóticas.

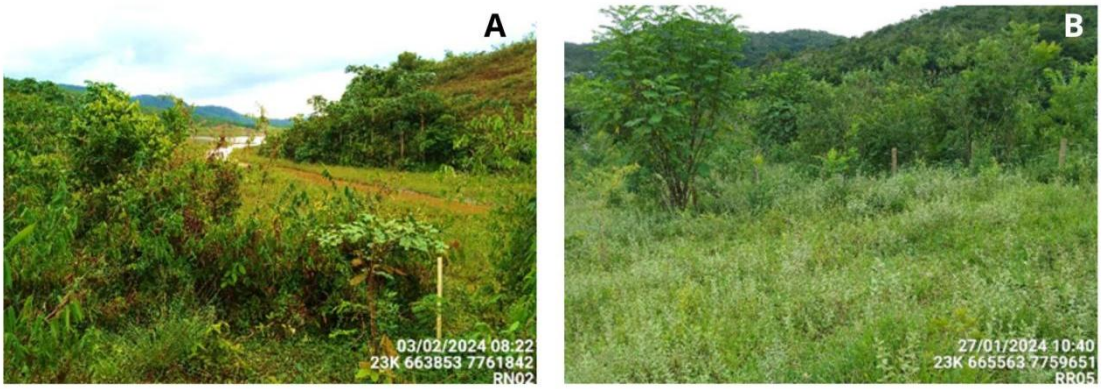


Figura 3. Tipo de áreas avaliadas no estudo: Fragmentos de Restauração Natural (A) e Fragmentos de Restauração Ativa (B), localizadas na Bacia do Rio Doce, MG.

Dessa forma, foram selecionados 40 sítios, sendo 20 Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e 20 Fragmentos de Restauração Natural (FRN). Em cada sítio foi delimitada uma parcela de 30 x 30 m, com uma armadilha *pitfall* disposta em cada vértice da parcela, totalizando quatro armadilhas por sítio, 80 armadilhas por tipo de restauração, 160 armadilhas por campanha e 480 armadilhas no total expostas nas três campanhas (**Figura 4**). A coleta em campo foi realizada sempre por um pesquisador biólogo e um auxiliar de campo, coordenados pela Dra. Marcelita França Marques da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

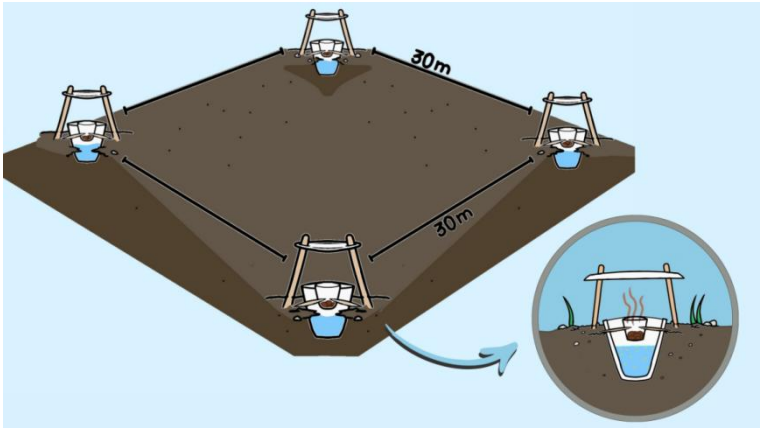


Figura 4. Representação visual da distribuição dos *pitfall* nos vértices da parcela, com detalhamento de cada armadilha. Ilustração elaborada por Halison Rosa.

3.3 Amostragem de besouros Scarabaeinae

A amostragem dos besouros da subfamília Scarabaeinae foi realizada entre 2022 e 2024, compreendendo três campanhas amostrais: a primeira entre fevereiro e abril de 2022, a segunda entre janeiro e março de 2023 e a terceira entre outubro de 2023 e março de 2024. O período entre maio e setembro corresponde à estação seca, enquanto a estação chuvosa foi priorizada para as amostragens, considerando a sazonalidade dos escarabeíneos, que apresentam maior atividade nesse período (Almeida e Louzada, 2009).

O método amostral utilizado foi a armadilha de queda do tipo *pitfall* (Almeida et al., 2024), com uso de atrativo (**Figura 5**). Cada armadilha consistiu em um pote plástico de 1 L, enterrado ao nível do solo e preenchido com 250 mL de uma solução

composta por água, sal e detergente neutro, com o objetivo de quebrar a tensão superficial da água e evitar a fuga dos besouros (Neves et al., 2010). A isca atrativa foi uma mistura de 50 g de fezes humanas e suínas, na proporção de 1:4 (Plano Ekos, 2020), colocada em um recipiente plástico de 50 mL, sustentado por uma estrutura de arame maleável no pote plástico. Para proteger as amostras contra a chuva e o ressecamento, cada armadilha foi coberta com uma tampa plástica, apoiada por três palitos de madeira.



Figura 5. Armadilha de queda (*pitfall*), com tampa protetora, utilizada para captura de besouros Scarabaeinae.

Após 48 horas de exposição das armadilhas em campo, o material biológico foi coletado e transferido para sacos plásticos com o auxílio de uma peneira de malha fina e pinça entomológica. Cada amostra recebeu uma etiqueta de identificação contendo informações sobre a data, o número da armadilha, o sítio amostral, o coletor e a área de estudo. Após a transferência, os sacos foram preenchidos com álcool a 70%, em volume suficiente para cobrir completamente o material e, levados para o laboratório.

3.4 Triagem, identificação e depósito dos espécimes

Em laboratório, o material biológico foi colocado em uma bandeja plástica branca, onde todos os exemplares de Scarabaeinae foram triados, separados, secos e acondicionados em mantas entomológicas, acompanhadas das respectivas informações de coleta presentes nas etiquetas de campo. As mantas entomológicas,

compostas por algodão e papel pardo dobrado, foram dispostas de forma sobreposta em caixas e armazenadas com naftalina, conforme Almeida et al. (2024) (**Figura 6A**).

A identificação taxonômica dos exemplares de Scarabaeinae foi realizada pelo Dr. André Tavares da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e confirmada pelo Prof. Dr. Fernando Vaz-de-Mello da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Os dados taxonômicos dos exemplares coletados foram organizados em planilhas Excel, seguindo a padronização Darwin Core (DwC) (**Figura 6B**).

Os espécimes, representativos de cada táxon identificado, foram montados com o auxílio de alfinetes entomológicos, observados morfologicamente sob estereomicroscópio e fotografados para a construção de um banco de imagens de referência. Os espécimes foram depositados no Museu de Entomologia Magali Hoffmann (MEMH) no Laboratório de Entomologia e Fitopatologia (LEF) do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Parte das amostras também foi doada à Coleção Entomológica de Mato Grosso Eurides Furtado (CEMT) da UFMT.



Figura 6. Etapas do processamento laboratorial dos besouros Scarabaeinae coletados nas áreas de estudo. (A) Triagem dos espécimes, com organização dos indivíduos em grupos morfologicamente semelhantes em mantas entomológicas; (B) Identificação taxonômica dos espécimes sob microscópio estereoscópico.

3.5 Classificação das guildas funcionais

A partir da caracterização taxonômica da composição da comunidade de Scarabaeinae coletada em cada área, esses besouros foram classificados em três guildas funcionais, conforme o comportamento de alocação de recursos descrito por Halffter e Edmonds (1982):

- **Paracoprídeos**: escavam túneis próximos ou abaixo da fonte de alimento.
- **Telecoprídeos**: formam bolas de esterco e as rolam para longe da fonte.
- **Endocoprídeos**: nidificam dentro do próprio alimento.

Destacam-se os paracoprídeos e os telecoprídeos por seu papel como dispersores secundários de sementes, favorecendo a regeneração vegetal e indicando maior sucesso na restauração (Ferreira, 2013). Embora apresentem menor remoção de fezes em comparação às demais guildas, os endocoprídeos contribuem para a manutenção dos processos de decomposição e ciclagem da matéria orgânica, especialmente em condições menos favoráveis à atividade de roladores e escavadores (Souza, 2025).

3.6 Análise de dados

A estrutura da comunidade de besouros foi analisada em cada área por meio de parâmetros ecológicos, como composição (catálogo das espécies amostradas), riqueza (S = número de espécies), abundância absoluta (N = número de indivíduos da amostra ou total) e abundância relativa (AR), calculada pela expressão:

$$AR_i(\%) = \frac{n_i}{N} \times 100$$

onde n_i é o número de indivíduos da espécie *i* e N é o número total de indivíduos amostrados, além da diversidade, da dominância e da equitabilidade.

A diversidade em cada área foi calculada pelo índice de Shannon-Wiener (H’), segundo a expressão:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln p_i$$

onde p_i corresponde à proporção de indivíduos da espécie *i* em relação ao total de indivíduos amostrados ($p_i = n_i/N$); S representa o número total de espécies e $\ln$ corresponde ao logaritmo neperiano.

A dominância foi avaliada pelo índice de Berger-Parker (d), que expressa a importância proporcional da espécie mais abundante de uma determinada amostra (Magurran, 2003), sendo calculado pela expressão:

$$d = \frac{N'_{max}}{N}$$

onde N'_{max} é o número de indivíduos da espécie mais abundante e N é o número total de indivíduos amostrados na área.

O índice de equitabilidade foi calculado segundo Pielou (1966) (J'):

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

em que:

$$H'_{max} = \ln(S)$$

onde H' é o índice de Shannon-Wiener e S corresponde ao número total de espécies na amostra (Magurran, 2003).

A eficiência da amostragem e a comparação da riqueza real e estimada nos dois conjuntos de áreas (FRN e FRA) foram analisadas com base nas curvas de rarefação individual, sendo também utilizado o estimador de riqueza não paramétrico Chao-1, que estima a riqueza com base na abundância das espécies (Colwell, 2013), calculado pela expressão:

$$\hat{S}_{Chao1} = S_{obs} + \frac{F_1^2}{2F_2}$$

onde $\hat{S}_{Chao1}$ é a riqueza estimada, S_{obs} é o número de espécies observadas, F_1 corresponde ao número de espécies representadas por um único indivíduo

(singletons) e F_2 ao número de espécies representadas por dois indivíduos (doubletons).

Os valores de abundância e riqueza da comunidade de Scarabaeinae foram comparados entre os diferentes tipos de áreas por meio de teste de comparação de médias. Inicialmente, foram testadas a normalidade dos dados (Shapiro-Wilk) e a homogeneidade das variâncias (Levene). Como as premissas não foram atendidas para a abundância, foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney; para a riqueza, como as premissas não foram atendidas, foi utilizado o teste t.

Uma análise de escalonamento multidimensional não métrico (*Non-metric Multidimensional Scaling* – NMDS) foi realizada para ordenar e visualizar a dissimilaridade da comunidade de Scarabaeinae entre as áreas deste estudo, utilizando o índice de Bray-Curtis como medida de dissimilaridade entre as amostras. O índice de Bray-Curtis foi calculado pela expressão:

$$BC_{ij} = 1 - \frac{2C_{ij}}{S_i + S_j}$$

onde C_{ij} é a soma dos menores valores de abundância compartilhados entre as amostras *i* e *j*, e S_ie S_j representam o número total de indivíduos nas amostras *i* e *j*, respectivamente. As diferenças na composição da comunidade entre as áreas foram avaliadas por meio da análise de similaridade (ANOSIM).

Foi registrada, em cada área, a abundância relativa das guildas funcionais, expressa pela porcentagem de indivíduos pertencentes a cada guilda, bem como a riqueza de espécies, correspondente ao número de espécies registradas por guilda funcional. A análise buscou identificar quais guildas predominavam em cada tipo de área. Além disso, a riqueza das guildas funcionais foi comparada entre FRN e FRA por meio do teste de Mann-Whitney, após a verificação das premissas estatísticas. A dominância das guildas funcionais foi avaliada utilizando o índice de Berger-Parker, visando identificar a predominância das guildas em função do tipo de restauração. Além das comparações entre os tipos de restauração, foi realizada uma análise temporal da comunidade de Scarabaeinae, considerando as três campanhas amostrais realizadas entre 2022 e 2024. Para cada campanha, foram calculados os parâmetros ecológicos de riqueza de espécies (S), abundância (N), diversidade de

Shannon-Wiener (H’), dominância de Berger-Parker (d) e equitabilidade de Pielou (J’).

Para as análises dos dados, foi utilizado o programa PAST versão 1.91 (Hammer et al., 2001), e os resultados foram analisados ao nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estrutura da comunidade geral de Scarabaeinae

No total, 4.369 indivíduos de Scarabaeinae foram amostrados, distribuídos em 48 espécies e sete tribos. Com base nessa riqueza observada e na riqueza estimada pelo estimador não paramétrico Chao1, que foi de 52,67 espécies, estima-se que a amostragem tenha capturado aproximadamente 91% da riqueza potencial da área. Dessa forma, a curva de rarefação (**Figura 7**) apresentou tendência à estabilização, sugerindo que o esforço amostral foi adequado para representar a diversidade local. Em termos gerais, a diversidade e a equitabilidade da comunidade de besouros avaliadas para a área estudada foram de 2,371 e 0,6124, respectivamente.

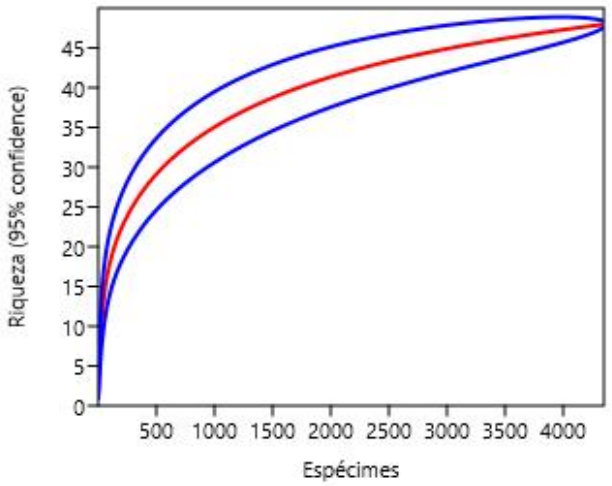


Figura 7. Curva de rarefação baseada na abundância de indivíduos da comunidade de Scarabaeinae coletados na Bacia do Rio Doce, MG. A curva em vermelho representa a riqueza de espécies estimada, enquanto as curvas em azul representam o intervalo de confiança de 95% da estimativa.

Esses valores de riqueza e abundância no estudo (48 espécies e 4.369 indivíduos, **Tabela 2**) são considerados relativamente similares ou elevados quando comparados a outros levantamentos realizados no Brasil. Riqueza similar e abundância menor foram observadas por Almeida e Louzada (2009), que encontraram 52 espécies e 2.363 indivíduos ao analisarem a estrutura da comunidade de Scarabaeinae em fitofisionomias do cerrado na Chapada das Perdizes (Carrancas, MG). Já em Pernambuco, por exemplo, foram registradas 28 espécies, com captura de 1.540 indivíduos de Scarabaeinae, em uma amostragem

conduzida por um período de apenas um ano (com abrangência nas estações seca e chuvosa) na área de pastagem junto à floresta subperenifólia (Silva et al., 2007). De forma semelhante, Silva e Di Mare (2012), no Rio Grande do Sul, também registraram 28 espécies e 1.611 indivíduos, a partir de coletas realizadas em um ano (porém com visitas quinzenais). No geral, essas diferenças observadas podem estar relacionadas ao esforço amostral e ao período de coleta distintos, além da variação nas características dos ambientes avaliados e na disponibilidade de recursos alimentares. Nesse cenário, mesmo após dez anos do desastre ambiental de Mariana, as áreas avaliadas mantêm uma comunidade de Scarabaeinae, indicando que o processo de recuperação ambiental tem proporcionado condições favoráveis à ocorrência desses organismos.

As tribos mais abundantes registradas foram Coprini (AR = 47,6%) e Onthophagini (AR = 38,9%) (**Tabela 2**). A elevada abundância dessas tribos pode estar relacionada às suas estratégias de rápida exploração dos recursos alimentares e à alta competitividade em ambientes com recursos temporários. Segundo Horgan (2001), os Coprini exploram intensamente as fezes disponíveis, enquanto os Onthophagini apresentam comportamento oportunista, alimentando-se e realizando a oviposição rapidamente. Em contraste, Deltochilini foi a tribo menos abundante registrada neste estudo, com apenas 19 indivíduos distribuídos em três espécies. Diferentemente de Coprini e Onthophagini, cujas espécies são predominantemente paracoprídeas, as espécies de Deltochilini são, em sua maioria, telecoprídeas, estratégia que envolve o rolamento e o transporte do recurso alimentar para locais distantes da fonte, demandando maior tempo e gasto energético. Essa característica pode reduzir sua competitividade em ambientes onde o recurso é rapidamente explorado por outras guildas.

Entre os gêneros, destacaram-se *Dichotomius* e *Onthophagus* como os mais abundantes (**Tabela 2**), correspondendo aos principais representantes das tribos Coprini e Onthophagini, respectivamente. A predominância desses grupos pode indicar a disponibilidade de recursos orgânicos no ambiente, além de refletir a capacidade de algumas espécies generalistas de colonizar áreas em recuperação. Em estudos de Scarabaeinae realizados em ecossistemas florestais, esses mesmos gêneros foram observados, sendo frequentemente associados à capacidade de explorar eficientemente os recursos disponíveis (Vaz-de-Mello, 2000). Segundo

Hanski e Cambefort (1991), em regiões tropicais, espécies generalistas tendem a ser mais frequentes, o que pode explicar a elevada abundância dessas espécies nas áreas estudadas.

Os gêneros menos abundantes foram *Canthon* (N = 2), *Deltochilum* (N = 4), *Pseudocanthon* (N = 4), *Trichillum* (N = 1) e *Uroxys* (N = 3), todos com abundância igual ou inferior a quatro indivíduos. Os demais gêneros apresentaram abundâncias intermediárias (entre 5 e 100 espécimes), contribuindo para a composição e diversidade da comunidade de Scarabaeinae registradas neste estudo.

Tabela 2. Espécies de Scarabaeinae amostradas em áreas afetadas pelo desastre ambiental da Bacia do Rio Doce, MG. FRA: Fragmentos em Restauração Ativa; FRN: Fragmentos em Restauração Natural. S: número de espécies; N: número de indivíduos; GF: guilda funcional (P: Paracoprídeos; T: Telecoprídeos; E: Endocoprídeos).

Tribo/ espécies	FRA	FRN	Total	GF
Ateuchini (S = 9; N = 141)				
Ateuchus pygidialis (Harold, 1868)	4	18	22	P
Eutrichillum hirsutum (Boucomont, 1928)	2	0	2	P
Trichillum adjunctum Martínez, 1969	4	2	6	P
Trichillum externepunctatum Borre, 1880	61	37	98	P
Trichillum halffteri Martínez, 1969	3	2	5	P
Trichillum sp.3	2	0	2	P
Trichillum sp.6	1	0	1	P
Trichillum sp.7	0	2	2	P
Uroxys sp.1	2	1	3	P
Eurysternini (S = 4; N = 39)				
Eurysternus calligrammus Dalman, 1824	0	4	4	E
Eurysternus hirtellus Dalman, 1824	5	6	11	E
Eurysternus nigrovirens Génier, 2009	0	1	1	E
Eurysternus paralelolus Castelnau, 1840	0	23	23	E
Onthophagini (S = 3; N = 1701)	**455**	**1246**	**1701**	
Digitonthophagus gazella (Fabricius, 1787)	19	1	20	P
Onthophagus haematopus Harold, 1875	309	1114	1423	P
Onthophagus hircus Billberg, 1815	127	131	258	P
Phanaeini (S = 3; N = 174)	**34**	**140**	**174**	
Coprophanaeus bellicosus Olivier, 1789	4	5	9	P
Coprophanaeus cyanescens (d'Olsoufieff, 1924)	19	12	31	P
Phanaeus splendidulus (Fabricius, 1781)	11	123	134	P
Canthonini (S = 7; N = 217)				
Canthon sp.3	0	1	1	T
Canthon sp.12	1	0	1	T
Deltochilum brasiliense (Castelnau, 1840)	0	6	6	T

Deltochilum furcatum (Castelnau, 1840)	25	87	112	T
Deltochilum irroratum (Castelnau, 1840)	42	49	91	T
Deltochilum rubripenne (Gory, 1831)	0	5	5	T
Deltochilum sp.10	0	1	1	T
Coprini (S = 19; N = 2078)				
Canthidium aterrimum Harold, 1867	12	10	22	P
Canthidium korschefskyi Balthasar, 1939	0	1	1	P
Chalcocopris hesperus (Olivier, 1789)	5	123	128	P
Dichotomius affinis (Felsche, 1910)	102	301	403	P
Dichotomius ascanius (Harold, 1869)	0	8	8	P
Dichotomius bicuspis (Germar, 1823)	2	2	4	P
Dichotomius bos (Blanchard, 1845)	1	2	3	P
Dichotomius irinus (Harold, 1867)	3	3	6	P
Dichotomius laevicollis (Felsche, 1901)	8	52	60	P
Dichotomius luctuosus (Harold, 1869)	120	149	269	P
Dichotomius mormon (Ljungh, 1799)	33	136	169	P
Dichotomius nisus (Olivier, 1789)	373	449	822	P
Dichotomius opacus (Blanchard, 1846)	2	2	4	P
Dichotomius quadrinodosus (Felsche, 1901)	17	58	75	P
Dichotomius socius (Luederwaldt, 1929)	1	0	1	P
Dichotomius sp.50	0	1	1	P
Ontherus appendiculatus (Mannerheim, 1829)	29	46	75	P
Ontherus azteca Harold, 1869	7	16	23	P
Ontherus sp.10	2	2	4	P
Deltochilini (S = 3; N = 19)				
Pseudocanthon sp.1	2	0	2	T
Pseudocanthon sp.2	2	0	2	T
Sylvicanthon obscurus (Schmidt, 1920)	2	13	15	T

O *ranking* das espécies mais abundantes evidenciou a dominância de poucas espécies na comunidade de Scarabaeinae (**Figura 8, 9 e 10**). Nesse sentido, ressalta-se que o índice de dominância da comunidade foi de 0,3257, devido à ocorrência de *Onthophagus haematopus* Harold, 1875 (**Figura 9F**), com alta representatividade, se destacando como a mais abundante (N = 1.423 indivíduos; AR = 32,57%). A elevada abundância de *Onthophagus haematopus* observada neste estudo também foi registrada por Carpio et al. (2009), que identificaram essa espécie entre as mais abundantes de uma comunidade de besouros coprófagos amostrada em um gradiente de perturbação antrópica na Amazônia equatoriana.

Em seguida, *Dichotomius nisus* (Olivier, 1789) (**Figura 9A**) foi a segunda espécie mais abundante (N = 822; AR = 18,82%) neste estudo, resultado

semelhante ao observado por Farias e Hernández (2017), que registraram essa espécie em agroecossistemas do sul do Brasil e verificaram associação de sua ocorrência com maiores teores de matéria orgânica do solo.

Entre as demais espécies mais abundantes, destacaram-se *Dichotomius affinis* (Felsche, 1910) (**Figura 10L**), seguida por *Dichotomius luctuosus* (Harold, 1869) e *Dichotomius mormon* (Ljungh, 1799) (**Figura 10P**). A ocorrência de espécies do gênero *Dichotomius* entre as mais abundantes também é relatada por Lopes et al. (2011), que registraram *Dichotomius mormon* como uma das espécies mais dominantes na comunidade de Scarabaeinae avaliada em áreas de Mata Atlântica e pastagem abandonada no Paraná.

A elevada abundância dessas espécies pode estar relacionada à maior capacidade de adaptação às condições ambientais das áreas amostradas, bem como à disponibilidade de recursos e às características do habitat. Além disso, fatores climáticos também podem influenciar a dinâmica populacional desses besouros. Segundo Gonçalves (2017), períodos com condições ambientais mais favoráveis, especialmente relacionados à maior disponibilidade hídrica durante a estação chuvosa, tendem a favorecer o desenvolvimento e o aumento populacional de Scarabaeinae. Dessa forma, a predominância observada pode estar associada tanto à adaptação ecológica das espécies quanto à possível influência das condições ambientais e climáticas sobre a estrutura da comunidade.

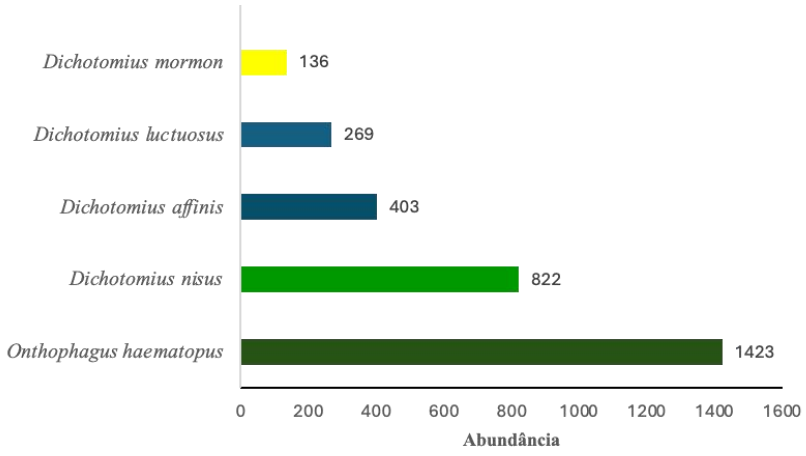


Figura 8. *Ranking* das cinco espécies mais abundantes de Scarabaeinae registradas nos fragmentos amostrados na Bacia do Rio Doce-MG, com base na abundância.

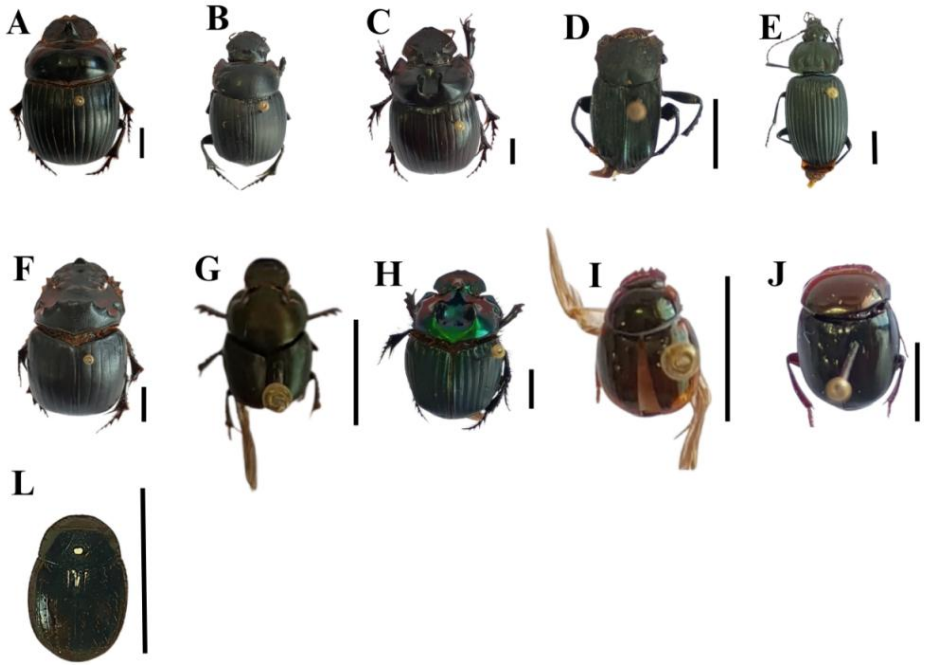


Figura 9. Besouros Scarabaeinae (rola-bosta) coletados nos fragmentos afetados pelo desastre da Bacia do Rio Doce, MG. *Habitus* dorsal dos espécimes representativos. A) *Dichotomius nisus*; B) *Dichotomius opacus*; C) *Dichotomius quadrinodosus*; D) *Eurysternus calligrammus*; E) *Ontherus azteca*; F) *Onthophagus haematopus*; G) *Onthophagus hircus*; H) *Phanaeus splendidulus*; I) *Pseudocanthon* sp.1; J) *Sylvicanthon obscurus*; L) *Trichillum externepunctatum*. Escala 5 mm.

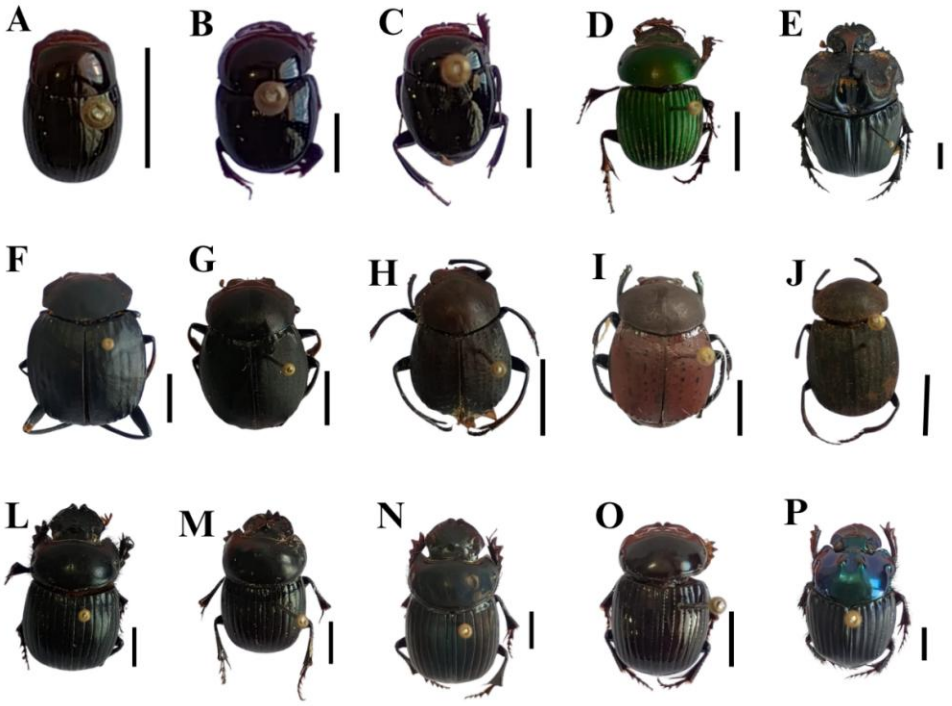


Figura 10. Besouros Scarabaeinae (rola-bosta) coletados nos fragmentos afetados pelo desastre da Bacia do Rio Doce-MG. *Habitus* dorsal dos espécimes representativos. A) *Ateuchus pygidialis*; B) *Canthidium aterrimum*; C) *Canthon* sp.3; D) *Chalcocopris hesperus*; E) *Coprophanaeus bellicosus*; F) *Deltochilum brasiliense*; G) *Deltochilum furcatum*; H) *Deltochilum irroratum*; I) *Deltochilum rubripenne*; J) *Deltochilum* sp.10; L) *Dichotomius affinis*; M) *Dichotomius ascanius*; N) *Dichotomius irinus*; O) *Dichotomius laevicollis*; P) *Dichotomius mormon*. Escala 5 mm.

4.2 Scarabaeinae: Fragmentos de Restauração Ativa x Natural

Dentre os 4.369 indivíduos de besouros amostrados, a maior abundância foi observada nos FRN, com 3.005 espécimes registrados (AR = 68,78%), enquanto nos FRA foram amostrados 1.364 indivíduos (AR = 31,22%) (**Figura 11**); (U = 182; p = 0,029) (**Figura 12**).

Os FRN também registraram maior riqueza, com 41 espécies, enquanto os FRA apresentaram 37 espécies (**Figura 11**); a comparação entre as áreas indicou diferença, com valores maiores nos FRN (10,92 ± 4,32) em relação aos FRA (7,83 ± 4,72) (t = 2,36; p = 0,022) (**Figura 12**). A riqueza estimada foi de 43,63 espécies para os FRN, correspondendo a 93,98% da comunidade de Scarabaeinae amostrada, e de 37,6 espécies para os FRA, correspondendo a 98,40%.

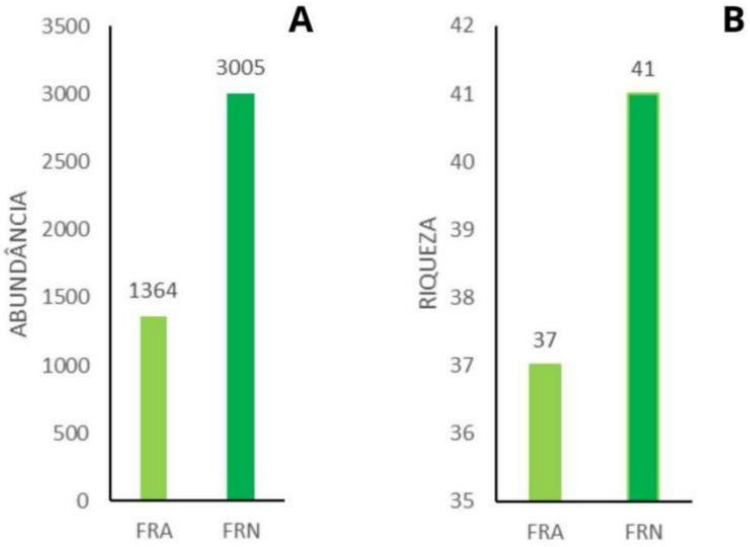


Figura 11. Comparação da abundância (A) e da riqueza (B) da comunidade de Scarabaeinae entre os Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e os Fragmentos de Restauração Natural (FRN), na Bacia do Rio Doce-MG. Barras em verde-claro representam os FRA e barras em verde-escuro representam os FRN.

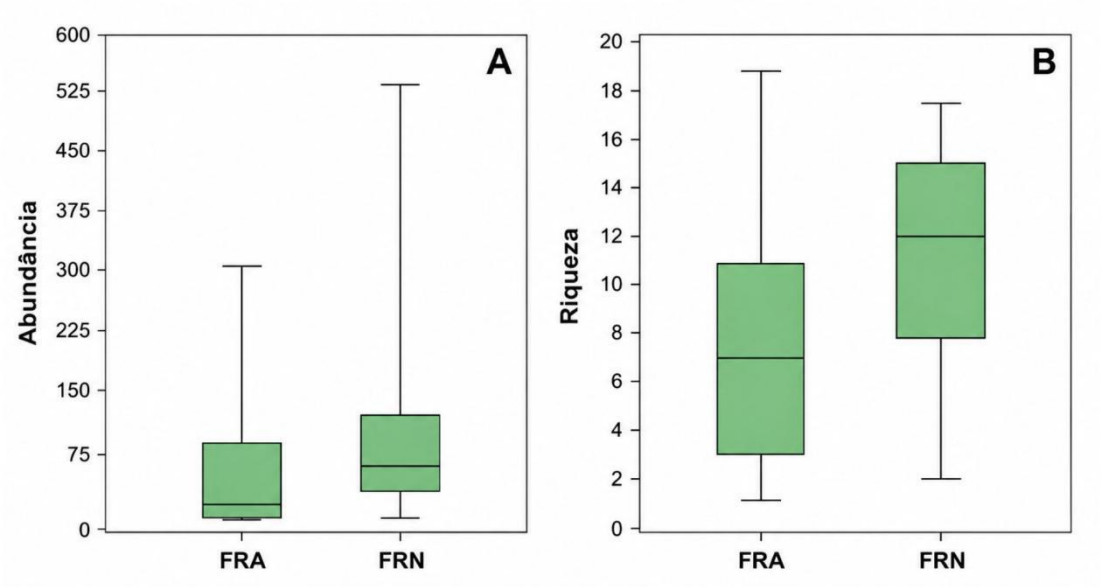


Figura 12. Comparação da abundância média (A) e da riqueza média (B) da comunidade de Scarabaeinae nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN). Os resultados indicaram diferenças estatisticamente significativas (teste de Mann-Whitney para abundância, p = 0,029; teste t para riqueza, p = 0,022).

Para explicar a maior abundância e riqueza de Scarabaeinae registradas nos FRN, é possível que a regeneração natural tenha proporcionado maior heterogeneidade estrutural do habitat, favorecendo a disponibilidade de micro-habitats e recursos utilizados pelos besouros. Arenhardt et al. (2023), em estudo realizado em áreas submetidas a diferentes estratégias de restauração ecológica, observaram que ambientes de floresta nativa e regeneração natural apresentaram condições microclimáticas mais favoráveis para a entomofauna, associadas à maior cobertura vegetal e deposição de serapilheira. Segundo os autores, essas características aumentam a complexidade estrutural do habitat e influenciam diretamente a dinâmica das comunidades de insetos. Crouzeilles et al. (2017) demonstraram que áreas em regeneração natural frequentemente apresentam respostas ecológicas equivalentes ou superiores às observadas em áreas submetidas à restauração ativa, especialmente em métricas relacionadas à biodiversidade. Segundo esses autores, quando fatores como cobertura florestal, precipitação e histórico de perturbação são considerados, a regeneração natural pode favorecer de forma eficiente a recomposição das comunidades biológicas.

Apesar da menor abundância e riqueza observadas nos FRA, esses fragmentos apresentaram maior diversidade e equitabilidade (H’ = 2,349; J’ = 0,6503) em comparação com os FRN (H’ = 2,295; J’ = 0,6179). Esses resultados sugerem

uma distribuição mais uniforme das espécies nos FRA. Consequentemente, a dominância foi maior nos FRN (d = 0,1819) do que nos FRA (d = 0,1533), sugerindo que, nos FRN, determinadas espécies apresentam maior representatividade na comunidade (**Tabela 3**).

Tabela 3. Parâmetros ecológicos avaliados para a comunidade de Scarabaeinae amostrada nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN), na Bacia do Rio Doce, MG

Parâmetros Ecológicos	**FRA**	**FRN**
Riqueza observada	37	41
Riqueza estimada (Chao-1)	37,6	43,63
Diversidade (H')	2,349	2,295
Equitabilidade (J')	0,6503	0,6179
Dominância (d)	0,1533	0,1819

Esses padrões evidenciam respostas complementares das estratégias de restauração sobre a comunidade de Scarabaeinae. Silva (2024), em estudo realizado em áreas afetadas pelo desastre de Mariana-MG, também observou comunidades de Scarabaeidae com menor dominância ecológica em ambientes de restauração natural e restauração ativa com plantio de mudas nativas ao longo do processo sucessional. De forma semelhante, Díaz-García et al. (2020) verificaram que áreas submetidas à restauração ativa apresentaram comunidades de besouros rola-bostas mais equilibradas e, maior ocorrência de espécies especialistas quando comparadas às áreas em regeneração natural. Segundo esses autores, o plantio direcionado favorece uma recuperação mais rápida da estrutura da vegetação, promovendo condições ambientais mais estáveis para diferentes grupos faunísticos. Esse padrão pode explicar os maiores valores de diversidade e equitabilidade observados nos FRA no presente estudo.

As análises da composição da comunidade de Scarabaeinae indicaram que as áreas analisadas compartilham parte da fauna, mas diferem na distribuição relativa das espécies e na composição de táxons dominantes (ANOSIM: r = 0,2365; p = 0,0001). De fato, embora exista similaridade entre as comunidades das áreas, observou-se uma tendência de separação das comunidades no espaço de ordenação do NMDS, ou seja, a estruturação da comunidade de besouros não é igual, havendo diferenças na abundância das espécies compartilhadas entre os ambientes e na distribuição da maior parte das espécies **(Figura 13**).

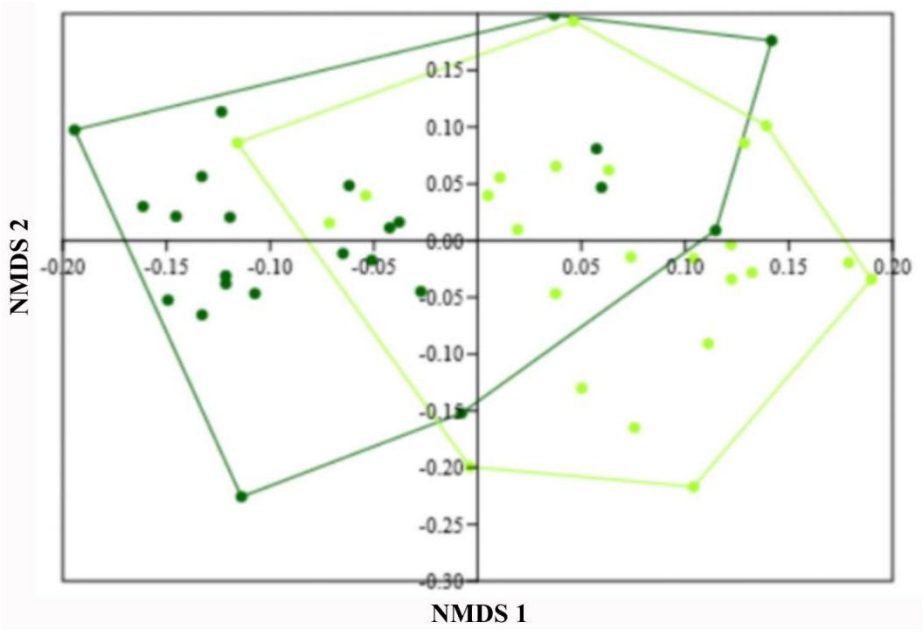


Figura 13. Resultado da análise de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), baseada na matriz de abundância das espécies de Scarabaeinae e no índice de dissimilaridade de Bray–Curtis, para avaliar a variação na composição da comunidade entre as áreas afetadas pelo desastre ambiental na Bacia do Rio Doce, MG.

Quanto à similaridade na composição de espécies entre as áreas de FRN e FRA, houve baixa similaridade geral entre os pontos amostrais (cerca de 10% de similaridade), com a área FRA17 apresentando a maior dissimilaridade, distinta de todos os pontos amostrais **(Figura 14**). Alguns pontos apresentaram maior proximidade, como os pares FRN11-FRN12 (mais de 75% de similaridade), seguidos de FRA21-FRA23, FRN06-FRA04 e FRN08-FRN10 (todos com 75% de similaridade), sugerindo composição de espécies mais semelhante e possível influência de condições ambientais compartilhadas. A composição das comunidades varia de acordo com as condições encontradas em cada ambiente, uma vez que diferentes espécies respondem de maneiras distintas às características do habitat e à disponibilidade de recursos. Assim, áreas com condições ambientais semelhantes tendem a apresentar comunidades mais similares, enquanto diferenças nessas condições favorecem mudanças na composição das espécies. Nesse contexto, os resultados indicam que as diferenças observadas entre as estratégias de restauração e os estágios de recuperação influenciaram a distribuição e a composição da comunidade de Scarabaeinae nas áreas estudadas.

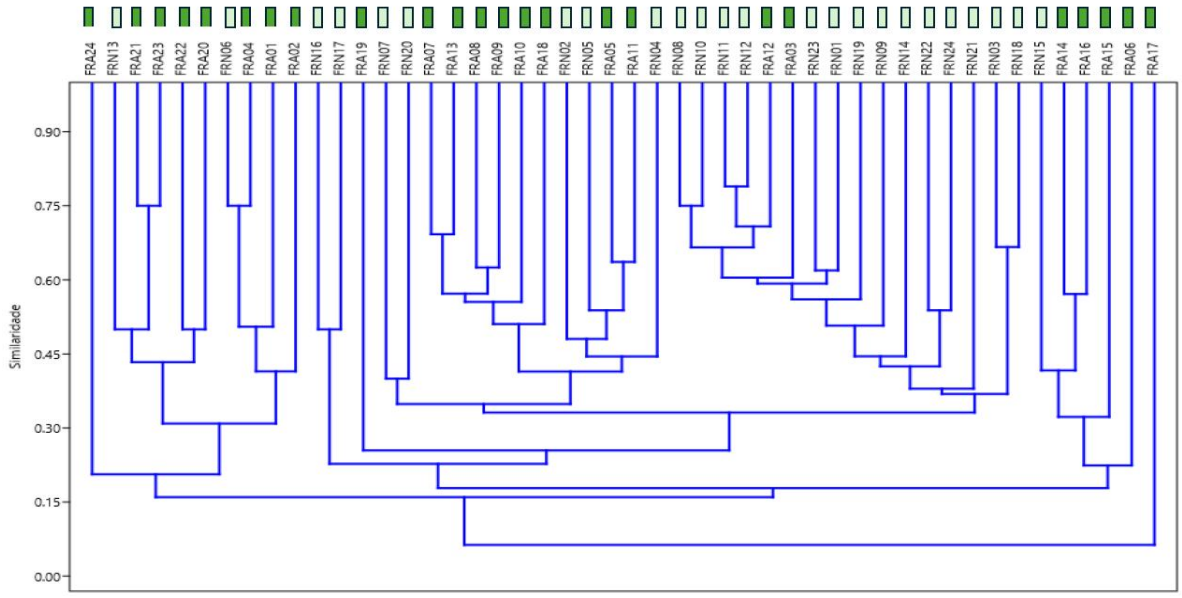


Figura 14. Dendrograma da análise de agrupamento com base no Índice de Similaridade de Jaccard entre as comunidades de Scarabaeinae nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN) e nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) na Bacia do Rio Doce-MG, com base em dados de presença e ausência das espécies. Retângulos em verde-claro representam FRN e barras em verde-escuro representam FRA.

Embora os FRN e FRA compartilhem parte das espécies mais abundantes, observou-se diferença na ordem de dominância e na representatividade relativa dos táxons. Nos FRN, *Onthophagus haematopus* foi a espécie dominante, representando aproximadamente 37% dos indivíduos amostrados na área, seguida por *Dichotomius nisus* e *Dichotomius affinis*. Em contraste, nos FRA, *Dichotomius nisus* apresentou a maior abundância, enquanto *Onthophagus haematopus* ocupou a segunda posição. Além disso, algumas espécies figuraram entre as mais abundantes apenas em uma das estratégias de restauração, como *Dichotomius mormon* nos FRN e *Onthophagus hircus* nos FRA. Embora diferentes áreas possam compartilhar as mesmas espécies de Scarabaeinae, a abundância de cada uma delas pode possivelmente variar em função das condições ambientais locais. Características do habitat, disponibilidade de recursos alimentares e interações entre as espécies podem influenciar a ocorrência e a abundância desses besouros, favorecendo algumas em detrimento de outras. Dessa forma, mesmo quando há compartilhamento de espécies entre os ambientes, diferenças na abundância relativa dos táxons podem resultar em alterações na estrutura da comunidade (**Figura 15**).

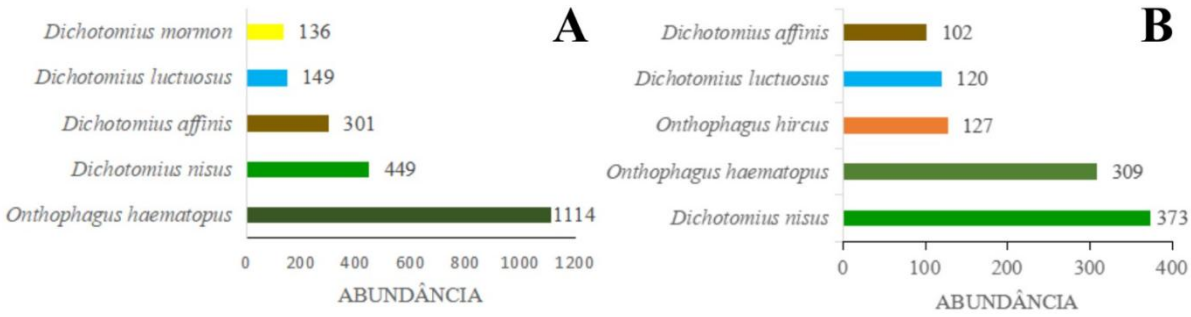


Figura 15. *Ranking* das cinco espécies de Scarabaeinae mais abundantes registradas nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN) (A) e nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) (B), na Bacia do Rio Doce, MG.

4.3 Guildas funcionais de Scarabaeinae: FRA X FRN

A composição das guildas funcionais da comunidade de Scarabaeinae evidenciou predominância de indivíduos pertencentes à guilda dos paracoprídeos, representando 93,70% da comunidade amostrada. Os telecoprídeos apresentaram menor participação, correspondendo a 5,40%, enquanto os endocoprídeos foram a guilda menos representativa, com 0,90% dos indivíduos registrados (**Figura 16**).

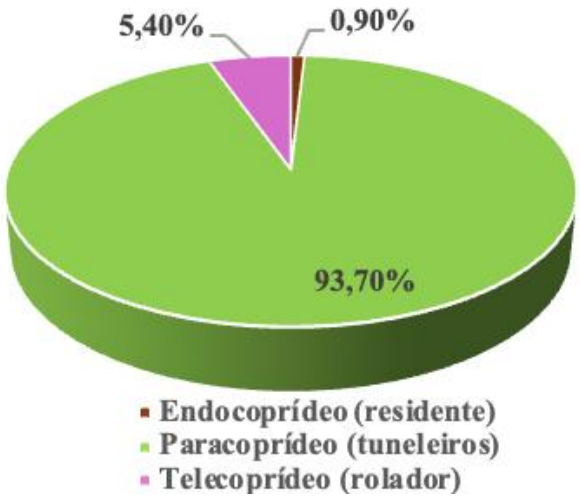


Figura 16. Comparação da proporção das guildas funcionais da comunidade de Scarabaeinae. Paracoprídeos (verde), Telecoprídeos (roxo) e Endocoprídeos (Marrom).

Nos FRA, os paracoprídeos (tuneleiros) representaram 94,21% dos indivíduos amostrados (N = 1285), seguidos pelos telecoprídeos (roladores), com 5,42% (N = 74), e pelos endocoprídeos (residentes), que corresponderam a 0,37% (N = 5). De forma semelhante, nos FRN, os paracoprídeos também foram a guilda mais representativa, com 93,48% dos indivíduos (N = 2.809), enquanto os telecoprídeos

corresponderam a 5,39% (N = 162) e os endocoprídeos, a 1,13% (N = 34), totalizando 3.005 indivíduos (**Figura 17**).

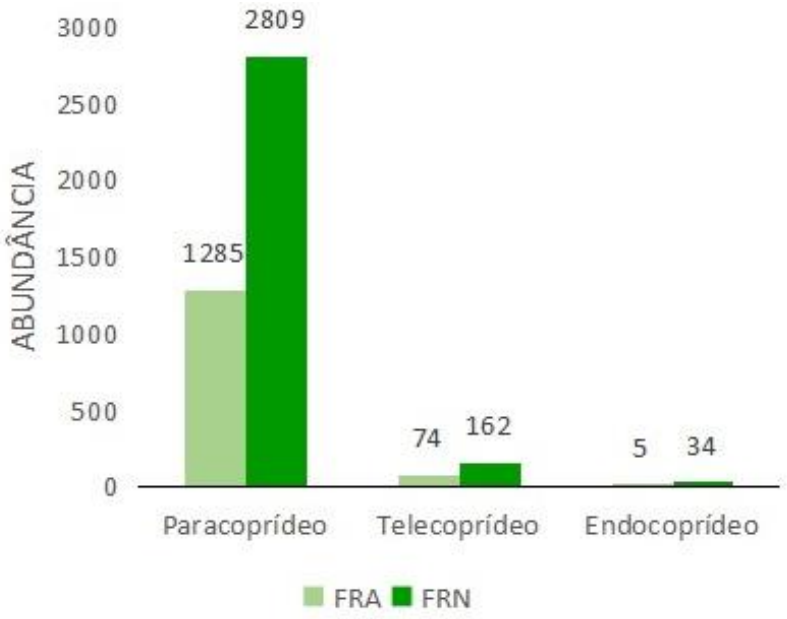


Figura 17. Distribuição da abundância de indivíduos de cada guilda funcional de Scarabaeinae nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA) e nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN), na Bacia do Rio Doce, MG. Barras em verde-claro representam FRA e barras em verde-escuro representam os FRN.

A predominância de espécies de paracoprídeas nas áreas avaliadas já é consolidada na literatura, pois a maioria das espécies descritas de Scarabaeinae em ambientes neotropicais pertence à guilda de paracoprídeos, em relação às outras guildas de alocação de recurso alimentar (Halffter et al., 1992; Louzada e Lopes, 1997). Estudos de Farias (2016) evidenciaram que espécies de paracoprídeas são favorecidas em solos de melhor qualidade, enquanto ambientes degradados tendem a reduzir sua abundância. Ressalta-se que esse padrão é fundamental para a manutenção de besouros com atividades de escavação e incorporação de matéria orgânica ao solo, pois esse comportamento pode favorecer processos como a ciclagem de nutrientes e a melhoria da estrutura física do solo, contribuindo indiretamente para a manutenção florística das áreas (Louzada, 2008; Silva e Silva, 2011). Embora menos representados, os telecoprídeos e endocoprídeos desempenham funções importantes relacionadas à dispersão secundária de sementes e à decomposição da matéria orgânica, contribuindo para a dinâmica do ecossistema (Ferreira et al., 2025).

Dos sítios FRN analisados, oito sítios de FRN apresentaram as três guildas funcionais (FRN1, FRN5, FRN10, FRN12, FRN15, FRN16, FRN19 e FRN20); nos demais, foram registradas apenas duas guildas, como paracoprídeos e telecoprídeos (FRN3, FRN7, FRN8, FRN9, FRN11, FRN14, FRN17, FRN18, FRN21, FRN22, FRN23 e FRN24) e paracoprídeos e endocoprídeos (FRN2). Destacam-se também três sítios contendo exclusivamente paracoprídeos (FRN4, FRN6 e FRN13).

Dos FRA, quatro sítios apresentaram as três guildas (FRA12, FRA14, FRA15 e FRA16); nos demais, foram registradas apenas duas guildas, como telecoprídeos e paracoprídeos (FRA1, FRA2, FRA3, FRA5, FRA7, FRA8, FRA19, FRA11, FRA13, FRA18 e FRA20); sete sítios compostos apenas por paracoprídeos (FRA4, FRA6, FRA10, FRA21, FRA22, FRA23 e FRA24); e um único sítio conteve exclusivamente telecoprídeos (FRA17) (**Figura 18**).

A ocorrência simultânea das três guildas em maior número de sítios de FRN sugere maior diversidade de estratégias funcionais nesses ambientes. Nesse tipo de restauração, a regeneração da vegetação ocorre por sucessão natural, resultando em uma estrutura vegetal mais diversificada, com variações na composição florística, na cobertura do dossel, no acúmulo de serapilheira e nas condições do solo (Brancalion et al., 2015; Coelho et al., 2025). Essas características tendem a aumentar a diversidade de micro-habitats e de nichos ecológicos, favorecendo a coexistência de espécies com diferentes estratégias funcionais de utilização do recurso.

A presença simultânea de paracoprídeos, telecoprídeos e endocoprídeos indica uma comunidade funcionalmente mais estruturada, com maior complementaridade ecológica no processamento e na remoção da matéria orgânica (Halffter e Favila, 1993), o que pode refletir um estágio mais avançado de reorganização da comunidade em comparação aos fragmentos de restauração ativa, onde houve maior número de sítios dominados por apenas uma guilda, especialmente paracoprídeos.

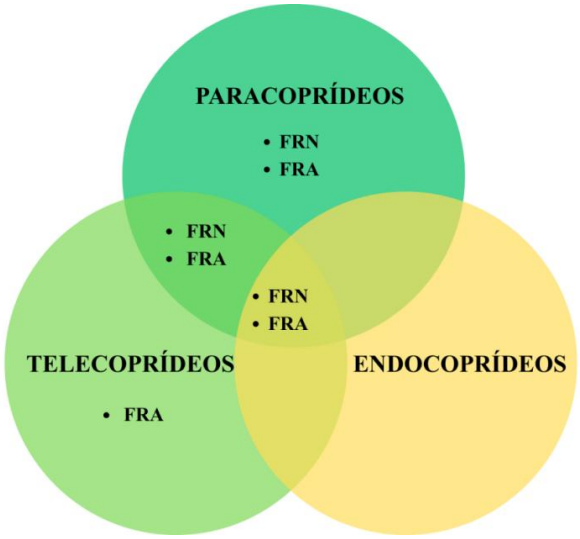


Figura 18. Diagrama de Venn representando a distribuição das guildas funcionais de besouros amostradas nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN) e nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA), na Bacia do Rio Doce, MG.

A comparação da riqueza de guildas funcionais entre os fragmentos de restauração ativa (FRA) e os fragmentos de regeneração natural (FRN) não revelou diferença estatisticamente significativa (teste de Mann-Whitney; U = 206; p = 0,065), mesmo havendo ocorrência simultânea das três guildas em maior número de sítios de FRN. Esse resultado demonstra que ambas as estratégias de restauração foram capazes de sustentar os principais grupos funcionais de Scarabaeinae. Segundo Castro-Arrazola et al. (2023), os diferentes grupos funcionais de Scarabaeinae respondem às variações na estrutura da vegetação, nas propriedades do solo e na disponibilidade de recursos, uma vez que seus traços funcionais determinam tanto a resposta às condições ambientais quanto o desempenho de funções ecossistêmicas. Dessa forma, é possível que a maior heterogeneidade estrutural, característica de áreas em regeneração natural, favoreça a coexistência de espécies com diferentes estratégias funcionais. Além disso, a manutenção dessas diferentes guildas é ecologicamente relevante, pois elas desempenham funções complementares na decomposição do esterco, na ciclagem de nutrientes, na bioturbação e na melhoria das propriedades físicas e químicas do solo (Torábio et al., 2024). Assim, embora a riqueza de guildas tenha sido semelhante entre FRA e FRN, diferenças na distribuição dessas guildas entre os sítios sugerem que as estratégias de restauração podem influenciar a organização funcional da comunidade.

4.4 Scarabaeinae: Variação temporal

A análise temporal da comunidade de Scarabaeinae entre 2022 e 2024 evidenciou variações na estrutura ecológica ao longo do período, com padrões distintos entre os FRA e os FRN. Na campanha de 2022, foram registradas 24 espécies e 701 indivíduos nos FRN, enquanto nos FRA foram registradas 17 espécies e 352 indivíduos (**Figura 19**). A diversidade de Shannon foi maior nos FRN (H’ = 1,661) em relação aos FRA (H’ = 1,595). Além disso, a dominância também foi maior nos FRN (D = 0,3946) do que nos FRA (D = 0,3312).

Em 2023, observou-se aumento da riqueza em ambas as áreas, com S = 25 nos FRN e S = 20 nos FRA, mantendo-se os FRN com maior riqueza. Já a abundância diminuiu nos FRN (N = 438) e nos FRA (N = 166). Nesse ano, os FRA apresentaram maior diversidade de Shannon (H’ = 2,438) em comparação aos FRN (H’ = 1,902), enquanto a dominância foi menor nos FRA (D = 0,1202) do que nos FRN (D = 0,2914).

Na campanha de 2024, houve novo aumento da riqueza e da abundância em ambos os tipos de restauração, mantendo-se os FRN se mantendo com valores maiores de riqueza e abundância (S = 35; N = 1866) do que os FRA (S = 28; N = 846). A diversidade de Shannon também foi maior nos FRN (H’ = 2,308) do que nos FRA (H’ = 2,134), com menor dominância nos FRN (D = 0,148) em relação aos FRA (D = 0,2025).

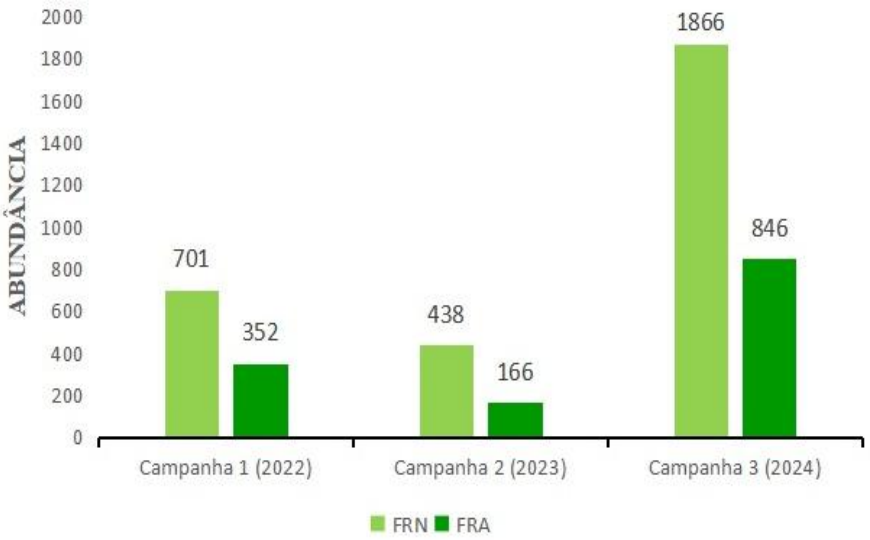


Figura 19. Abundância de Scarabaeinae registrada nas três campanhas amostrais, nos Fragmentos de Restauração Natural (FRN) e nos Fragmentos de Restauração Ativa (FRA), na Bacia do Rio Doce, MG. Barras em verde-claro representam os FRN e barras em verde-escuro representam os FRA.

O aumento da riqueza observada nos FRN, de 24 para 35 espécies, e nos FRA, de 17 para 28 espécies, associado às variações nos índices de Shannon e dominância, indica não apenas um incremento no número de espécies ao longo do tempo, mas também um possível processo de restabelecimento da estrutura das comunidades de Scarabaeinae com o avanço da restauração ambiental. Esse padrão sugere que as áreas em recuperação vêm se tornando progressivamente mais favoráveis à colonização e à permanência de diferentes espécies, refletindo, possivelmente, maior heterogeneidade ambiental, disponibilidade de recursos e interações ecológicas. Essas variações temporais observadas na comunidade de Scarabaeinae ao longo das campanhas corroboram os resultados obtidos por Ferreira (2018), ao avaliar a variabilidade espaço-temporal de Scarabaeinae em localidades com diferentes níveis de alteração ambiental no Rio Grande do Sul. O autor registrou mudanças na riqueza e na abundância das espécies ao longo do período amostral, evidenciando que a estrutura dessas comunidades apresenta caráter dinâmico e pode ser influenciada por fatores ambientais.

A composição funcional da comunidade de Scarabaeinae apresentou variações ao longo do período avaliado (2022–2024), porém com predominância constante dos paracoprídeos em todas as campanhas (**Figura 20**). Em 2022, essa guilda representou 93,70% dos indivíduos amostrados em 2022, correspondendo a 987 indivíduos; em 2023, apresentou redução relativa em 2023 (AR = 85,90%; N = 519); e, em 2024, voltou a aumentar, representando 95,42% da comunidade, com 2588 indivíduos.

Quanto às demais guildas, os telecoprídeos apresentaram maior contribuição relativa em 2023 (AR = 13,41%; N = 81), quando comparados às campanhas de 2022 (AR = 3,60%; N = 38) e 2024 (AR = 4,31%; N = 117). Os endocoprídeos mantiveram baixa representatividade ao longo do período, com 28 indivíduos em 2022 (AR = 2,65%), redução para quatro indivíduos em 2023 (AR = 0,66%) e pequeno aumento para sete indivíduos em 2024 (AR = 0,25%). Apesar das oscilações observadas entre as campanhas, a predominância dos paracoprídeos foi mantida durante todo o período amostral, indicando que a estrutura funcional da comunidade permaneceu relativamente estável. Embora os telecoprídeos tenham apresentado aumento relativo em 2023, essa variação não foi suficiente para alterar

o padrão funcional predominante, sugerindo que as mudanças temporais observadas afetaram principalmente a abundância relativa das guildas, sem modificar a organização funcional da comunidade.



Figura 20. Abundância das guildas da comunidade de Scarabaeinae nas campanhas de 2022 (azul-claro), campanha de 2023 (azul-médio) e campanha 2024 (azul-escuro).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a comunidade de Scarabaeinae responde de forma sensível aos processos de restauração em fragmentos afetados pelo desastre ambiental da Bacia do Rio Doce-MG, confirmando o potencial desses besouros como bioindicadores da recuperação ambiental. Foram registrados 4.369 indivíduos, 48 espécies e 17 gêneros, evidenciando elevada diversidade nas áreas monitoradas. Além disso, a presença de espécies amplamente distribuídas e abundantes, como *Onthophagus haematopus* e *Dichotomius nisus*, demonstra a capacidade de determinados táxons de colonizar e persistir em ambientes em processo de recuperação.

Os fragmentos de restauração natural apresentaram maiores valores de riqueza e abundância, indicando maior contribuição para o restabelecimento quantitativo da comunidade de Scarabaeinae. Em contrapartida, os fragmentos de restauração ativa apresentaram maiores índices de diversidade e equitabilidade, refletindo uma distribuição mais equilibrada das abundâncias entre as espécies. Esses resultados demonstram que ambas as estratégias contribuem para a recuperação ecológica, embora favoreçam componentes distintos da comunidade. Assim, em áreas com potencial de regeneração espontânea, proximidade de remanescentes vegetais e condições favoráveis à recolonização, a restauração natural pode ser priorizada. Entretanto, em áreas mais degradadas, isoladas ou com limitações ao restabelecimento da vegetação, a restauração ativa pode ser necessária como estratégia complementar, de modo que a escolha da abordagem deve considerar as condições ambientais e o histórico de degradação de cada área.

A presença das diferentes guildas, sobretudo nos fragmentos de restauração natural, sugere maior heterogeneidade ambiental e avanço na reorganização funcional das comunidades. Essa variação das guildas de besouros rola-bostas nas áreas avaliadas reforça a importância funcional desses organismos na manutenção dos processos ecológicos do solo, especialmente na ciclagem de nutrientes, na incorporação de matéria orgânica e na dispersão secundária de sementes.

Entre 2022 e 2024, observaram-se mudanças temporais na estrutura da comunidade, com aumento da riqueza e valores de abundância superiores em 2024,

embora tenham ocorrido oscilações intermediárias entre as campanhas, indicando avanços no processo de recuperação ecológica das áreas restauradas. Esses resultados evidenciam que as comunidades de Scarabaeinae respondem às mudanças ambientais ao longo do tempo e podem atuar como importantes bioindicadores da trajetória de restauração.

Conclui-se que os padrões observados indicam mudanças na comunidade de Scarabaeinae ao longo do processo de restauração das áreas impactadas, embora diferenças estruturais ainda sejam observadas entre os tipos de restauração. O monitoramento contínuo desses besouros pode fornecer informações relevantes sobre a trajetória de recuperação dos ecossistemas e subsidiar a tomada de decisões em programas de restauração ambiental e manejo sustentável do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, L. M. Marinoni, L. Clarkson, B. (2024) Coleta, montagem, preservação e métodos para estudos. In: Rafael, J. A. Melo, G. A. R. Carvalho, C. J. B. Casari, S. Constantino, R. (Ed.). Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia. 2. ed. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, p. 120-136. DOI: 10.61818/56330464c07.

Almeida, S. S. P. Louzada, J. N. C. (2009) Estrutura da comunidade de Scarabaeinae (Scarabaeidae: Coleoptera) em fitofisionomias do cerrado e sua importância para a conservação. Revista Brasileira de Entomologia, v. 53, p. 556-563. DOI: 10.1590/S1519-566X2009000100003.

Arenhardt, T. C. P. Klunk, G. A. Vitorino, M. D. (2023) Parâmetros ecológicos e dinâmica populacional da entomofauna de serapilheira em áreas em processo de restauração ecológica. Biodiversidade Brasileira, v. 13, p. 1-14. DOI: 10.37002/biobrasil.v13i2.

Audino, L. D. Louzada, J. Comita, L. S. (2014) Dung beetles as indicators of tropical forest restoration success: Is it possible to recover species and functional diversity? Biological Conservation, 169:248-257. DOI: 10.1016/j.biocon.2013.11.023.

Baltazar, O. F. Raposo, F. O. (Org.). (1993) Mariana: folha SF.23-X-B-I: estado de Minas Gerais. Brasília: DNPM; CPRM, 196p.

Bang, H. S. Lee, J.-H. Kwon, O. S. Na, Y. E. Jang, Y. S. Kim, W. H. (2005) Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. Applied Soil Ecology, v. 29, p. 165-171.

Baretta, D. (2007) Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo. Tese (Doutorado) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 158p.

Baretta, D. Santos, J. C. P. Segat, J. C. Geremia, E. V. Oliveira Filho, L. C. I. Alves, M. V. (2011) Fauna edáfica e qualidade do solo. In: Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 119-170.

Borges, S. (2018) O desastre da barragem de rejeitos em Mariana, Minas Gerais: aspectos socioambientais e de gestão na exploração de recursos minerais. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, v. 27, p. 302-313. DOI: 10.15446/rcdg.v27n2.63008.

Braga, R. F. Korasaki, V. Andresen, E. Louzada, J. (2013) 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, e57786. DOI: 10.1371/journal.pone.0057786.

Brancalion, P. H. S. Gandolfi, S. Rodrigues, R. R. (2015) Restauração florestal. São Paulo: Oficina de Textos, 431p.

Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2015) Laudo técnico preliminar: impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Brasília. Disponível em: IBAMA – Laudo técnico preliminar. Acesso em: 24 maio 2025.

Brown, G. G. Niva, C. C. Zagatto, M. R. G. Ferreira, S. A. Nadolny, H. S. Cardoso, G. B. X. Santos, A. Martinez, G. A. Pasini, A. Bartz, M. L. C. Sautter, K. D. Thomazini, M. J. Baretta, D. Silva, E. Antoniolli, Z. I. Decaëns, T. Lavelle, P. M. Sousa, J. P. Carvalho, F. (2015) Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica. Brasília: Embrapa, p. 122-154.

Brussaard, L. (1997) Biodiversity and ecosystem functioning in soil. Ambio, v. 26, p. 563-570.

Cambefort, Y. (1991) From saprophagy to coprophagy. In: Hanski, I. Cambefort, Y. (Ed.). Dung Beetle Ecology. Princeton: Princeton University Press, p. 22-35.

Carpio, C. et al. (2009) Short term response of dung beetle communities to disturbance by road construction in the Ecuadorian Amazon. Annales de la Société Entomologique de France, v. 45, n. 4, p. 455-469.

Carvalho, R. S. Pereira, K. S. (2012) Entomofauna do solo de Mata primária Atlântica como padrão indicador de qualidade dos agroecossistemas. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. (Documentos, 204).

Castro-Arrazola, I. Andrew, N. R. Berg, M. P. et al. (2023) A trait-based framework for dung beetle functional ecology. Journal of Animal Ecology, v. 92, n. 1, p. 44-65.

Chung, A. Y. C. Eggleton, P. Speight, R. Hammond, P. M. Chey, V. K. (2000) The diversity of beetle assemblages in different habitat types in Sabah, Malaysia. Bulletin of Entomological Research, v. 90, p. 475-496.

CNDH. (2016) Relatório da barragem do Rio Doce. Brasília: Conselho Nacional dos Direitos Humanos. Disponível em: CNDH – Relatório da Barragem do Rio Doce. Acesso em: 05 maio 2026.

Coelho, A. J. P. Mata, S. Silva, N. Zupo, T. M. Meira-Neto, J. A. A. Siqueira, M. F. (2025) Recuperação da diversidade funcional ao longo da sucessão na Mata Atlântica: insights para restauração passiva e ativa na Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão – Série INMA, v. 2, n. 1, p. 85-98.

Colwell, R. K. (2013) EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1.0.

Cordeiro, L. S. (2013) Influência de características ambientais sobre a comunidade de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em Florestas Tropicais Secas. Montes Claros, 40p.

Costa, C. D. Silva, F. A. B. Farias, A. I. Moura, R. D. C. (2009) Diversidade de Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) coletados com armadilha de interceptação de voo no Refúgio Ecológico Charles Darwin, Igarassu-PE, Brasil. Revista Brasileira de Entomologia, v. 53, p. 88-94.

Costa-Silva, V. Ferreira, A. S. Bordin, B. R. Basílio, D. S. Rodrigues, D. F. Gama, E. R. R. Fuhrmann, J. Mariano, J. Bevilaqua, M. Cherman, M. A. Duarte, P. R. M. Grossi, P. C. Vaz-de-Mello, F. Z. (2024) Scarabaeoidea brasileira (Insecta, Coleoptera) na Coleção Taxonômica Brasileira Fauna, com chave para famílias e subfamílias. Zoologia, v. 41, e23075.

Crouzeilles, R. et al. (2017) Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. Science Advances, v. 3, n. 11, e1701345.

Davis, A. J. Holloway, J. D. Huijbregts, H. Krikken, J. Kirk-Spriggs, A. H. Sutton, S. (2001) Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo.

Journal of Applied Ecology, v. 38, n. 3, p. 593-616. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2001.00619.x.

Davis, A. L. V. Philips, T. K. (2005) Effect of deforestation on a Southwest Ghana dung beetle assemblage (Coleoptera: Scarabaeidae) at the periphery of Ankasa Conservation Area. Environmental Entomology, v. 34, n. 5, p. 1081-1088.

Davis, A. L. V. Philips, T. K. (2009) Regional fragmentation of rain forest in West Africa and its effect on local dung beetle assemblage structure. Biotropica, v. 41, n. 2, p. 215-220.

Díaz-García, J. M. López-Barrera, F. Pineda, E. Toledo-Aceves, T. Andresen, E. (2020) Comparing the success of active and passive restoration in a tropical cloud forest landscape: a multi-taxa fauna approach. PLoS ONE, v. 15, n. 11, e0242020. DOI: 10.1371/journal.pone.0242020.

Doube, B. M. (1991) Dung beetles of Southern Africa. In: Hanski, I. Cambefort, Y. (Ed.). Dung Beetle Ecology. Princeton: Princeton University Press, p. 133-155.

Ello Ambiental Consultoria. (s.d.) Ello Ambiental Consultoria. Colatina, ES: Ello Ambiental. Disponível em: Ello Ambiental Consultoria. Acesso em: 15 jun. 2026.

EMATER-MG. (s.d.) Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: EMATER-MG. Disponível em: EMATER-MG. Acesso em: 15 jun. 2026.

EMBRAPA. (2016) Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG: apoio ao plano de recuperação agropecuária. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Farias, P. D. (2016) Diversidade de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em agroecossistemas: funções ecossistêmicas e contribuição na ciclagem de nutrientes. Tese (Doutorado em Ecologia) – Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 182p.

Farias, P. M. D. Hernández, M. I. M. (2017) Besouros rola-bostas associados a agroecossistemas do Sul do Brasil: relação com propriedades do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 41, e0160248.

Favila, M. E. Halffter, G. (1997) The use of indicator groups for measuring biodiversity as related to community structure and function. Acta Zoológica Mexicana, n. 72, p. 1-25.

Ferreira, B. F. (2013) Aspectos da sazonalidade de Scarabaeidae coprófagos no início e fim da estação chuvosa de uma área de pastagem em Selvíria, MS. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Área de Concentração em Entomologia) – Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 64p.

Ferreira, R. Lima, M. B. Lopes, P. P. (2025) Serviços ecossistêmicos de dispersão secundária de sementes por besouros rola-bostas (Coleoptera: Scarabaeinae) em caatingas e pastagens, em Andorinha, Bahia. Meio Ambiente (Brasil), v. 7, n. 3.

Ferreira, S. C. (2018) Variabilidade espaço-temporal de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em quatro localidades com diferentes níveis de alteração no Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Área Biodiversidade Animal) – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 95p.

Filgueiras, B. K. C. Tabarelli, M. Leal, I. R. Vaz-de-Mello, F. Z. Iannuzzi, L. (2015) Dung beetle persistence in human-modified landscapes: combining indicator species with anthropogenic land use and fragmentation-related effects. Ecological Indicators, v. 55, p. 65-73.

Freitas, L. Oliveira, I. Silva, L. Frare, J. Filla, V. Gomes, R. (2017) Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. Unimar Ciências, v. 26, n. 1-2, p. 8-25.

Gandolfi, S. Rodrigues, R. R. (2007) Metodologias de restauração florestal. In: Fundação Cargill. Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas. Campinas: Fundação Cargill, p. 109-143.

Gardner, T. A. Hernández, M. I. M. Barlow, J. Peres, C. A. (2008) Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for Neotropical dung beetles. Journal of Applied Ecology, v. 45, n. 3, p. 883-893.

Gliessman, S. R. (2001) Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora UFRGS, 653p.

Godoy, S. M. Dias, M. B. (2021) O desastre ambiental de Mariana e o papel da Fundação Renova na reparação dos danos. Direito e Desenvolvimento, v. 12, n. 1, p. 37-48.

Gonçalves, M. P. G. (2017) Relação entre tempo e besouros em mata de cocal. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 4, p. 543-554.

Griffiths, H. M. Louzada, J. Bardgett, R. D. Beiroz, W. França, F. Tregidgo, D. Barlow, J. (2015) Biodiversity and environmental context predict dung beetle-mediated seed dispersal in a tropical forest field experiment. Ecology, v. 96, n. 6, p. 1607-1619. DOI: 10.1890/14-1211.1.

Guerin, N. Isernhagen, I. Vieira, D. L. M. Campos-Filho, E. M. Campos, R. J. B. (2015) Avanços e próximos desafios da semeadura direta para restauração ecológica. In: Martins, S. V. (Ed.). Restauração ecológica de ecossistemas degradados. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, p. 331-376.

Halffter, G. Edmonds, W. D. (1982) The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): an ecological and evolutive approach. Paris: UNESCO, 177p.

Halffter, G. Favila, M. E. (1993) The Scarabaeidae (Insecta: Coleoptera): an animal group for analyzing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rain forest and modified landscapes. Biology International, n. 27, p. 15-21.

Halffter, G. Favila, M. E. Halffter, V. (1992) A comparative study of the structure of the scarab guild in Mexican tropical rain forest and derived ecosystems. Folia Entomológica Mexicana, n. 84, p. 131-156.

Hammer, Ø. Harper, D. A. T. Ryan, P. D. (2001) PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, v. 4, n. 1, p. 1-9.

Hanski, I. Cambefort, Y. (1991) Dung Beetle Ecology. Princeton: Princeton University Press, 481p.

Holl, K. D. (2023) Fundamentos da restauração ecológica. CopIt ArXives.

Horgan, F. G. (2001) Burial of bovine dung by coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from horse and cow grazing sites in El Salvador. European Journal of Soil Biology, v. 37, n. 2, p. 103-111.

IBGE. (2022) Barra Longa (MG): dados do Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: IBGE – Barra Longa (MG). Acesso em: 15 jun. 2026.

IBGE. (2022) Mariana (MG): dados do Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: IBGE – Mariana (MG). Acesso em: 24 mar. 2025.

Instituto Escolhas. (2023) Estratégias de recuperação da vegetação nativa em ampla escala para o Brasil. Relatório técnico. São Paulo: Instituto Escolhas.

Jaborandy, C. C. M. Silva, R. T. B. Moreira Júnior, O. R. (2023) Uma análise crítica do desastre de Mariana/MG. Veredas do Direito, v. 20, e202500.

Keller, N. Niklaus, P. A. Ghazoul, J. Marfil, T. Godoong, E. Philipson, C. D. (2023) Biodiversity consequences of long-term active forest restoration in selectively-logged tropical rainforests. Forest Ecology and Management, v. 549, 121414.

Klein, B. C. (1989) Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. Ecology, v. 70, n. 6, p. 1715-1725.

Lavelle, P. Decaëns, T. Aubert, M. Barot, S. Blouin, M. Bureau, F. Margerie, P. Mora, P. Rossi, J. P. (2006) Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Soil Biology, v. 42, p. S3-S15.

Lepsch, I. F. (2011) Dezenove lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos.

Lima, J. D. N. Silva, V. C. Bianchi, V. Silva, P. G. Di Mare, R. A. (2015) Estrutura e organização de assembleias de Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) em diferentes fitofisionomias no sul do Brasil. Iheringia, Série Zoologia, v. 105, n. 4, p. 393-402.

Lopes, J. Korasaki, V. Catelli, L. L. Marçal, V. V. M. Nunes, M. P. B. P. (2011) A comparison of dung beetle assemblage structure (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) between an Atlantic forest fragment and adjacent abandoned pasture in Paraná, Brazil. Zoologia, v. 28, n. 1, p. 72-79.

Louzada, J. (2008) Scarabaeidae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritívoros em ecossistemas tropicais: diversidade e serviços ambientais. In: Moreira, F. M. S.

Siqueira, J. O. Brussaard, L. (Org.). Biodiversidade de solos em ecossistemas brasileiros. Lavras: Editora UFLA, p. 299-322.

Louzada, J. N. C. Lopes, F. S. (1997) A comunidade de Scarabaeidae copro-necrófagos (Coleoptera) de um fragmento de Mata Atlântica. Revista Brasileira de Entomologia, v. 41, n. 1, p. 117-121.

Machado, D. L. Pereira, M. G. Correia, M. E. F. Diniz, A. R. Menezes, C. E. G. (2015) Fauna edáfica na dinâmica sucessional da mata atlântica em floresta estacional semidecidual na bacia do rio Paraíba do Sul-RJ. Ciência Florestal, 25:91-106.

Magurran, A. E. (2003) Measuring Biological Diversity. Oxford: Blackwell Publishing, 256p.

Manhães, A. P. Pantaleão, L. C. Moraes, L. F. D. Amazonas, N. T. Saavedra, M. M. Mantuano, D. Sansevero, J. B. B. (2022) Functional trajectory for the assessment of ecological restoration success. Restoration Ecology, v. 30, e13665.

Martins, S. V. Miranda Neto, A. Ribeiro, T. M. (2015) Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. In: Martins, S. V. (Ed.). Restauração ecológica de ecossistemas degradados. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, p. 19-41.

Mazón, M. Aguirre, N. Echeverría, C. Aronson, J. (2019) Monitoring attributes for ecological restoration in Latin America and the Caribbean region. Restoration Ecology, v. 27, n. 5, p. 992-999.

Mcgeoch, M. A. Van Rensburg, B. J. Botes, A. (2002) The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. Journal of Applied Ecology, v. 39, n. 4, p. 661-672.

Moço, M. K. S. Gama-Rodrigues, E. F. Gama-Rodrigues, A. C. Correia, M. E. F. (2005) Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 555-564.

Morón, M. Á. Márquez, J. (2012) Nuevos registros estatales y nacionales de escarabajos (Coleoptera: Scarabaeoidea) y comentarios sobre su distribución. Revista Mexicana de Biodiversidad, v. 83, n. 3, p. 698-711.

Neves, F. S. Oliveira, V. H. F. Espírito-Santo, M. M. Vaz-de-Mello, F. Z. Louzada, J. Sanchez-Azofeifa, A. Fernandes, G. W. (2010) Seasonal and successional changes in a community of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a Brazilian tropical dry forest. Natureza & Conservação, v. 8, n. 2, p. 160-164.

Nichols, E. Larsen, T. Spector, S. Davis, A. L. V. Escobar, F. Favila, M. E. Vulinec, K. (2007) Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: a quantitative literature review and meta-analysis. Biological Conservation, v. 137, n. 1, p. 1-19.

Nichols, E. Spector, S. Louzada, J. Larsen, T. Amezquita, S. Favila, M. E. (2008) Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. Biological Conservation, v. 141, n. 6, p. 1461-1474. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.011.

Nishiwaki, A. A. M. Pinheiro, S. M. G. Gusmão, L. O. Silva, E. C. Santos, A. F. M. S. El-Deir, S. G. (2017) Scarabaeidae family (Coleoptera) as potential environmental quality bioindicator. Revista Geama, v. 3, n. 2, p. 68-77.

Oliveira, B. R. D. G. (2023) Respostas funcionais a distúrbios antrópicos e a importância de traços selecionados: um estudo de caso usando besouros rola-bostas em uma área degradada. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 34p.

Pearce, J. L. Venier, L. A. (2006) The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: a review. Ecological Indicators, v. 6, p. 780-793.

Piaia, B. B. Rovedder, A. P. M. Procknow, D. Camargo, B. (2021) Avaliação de indicadores ecológicos na restauração por plantio em núcleo com diferentes idades. Ciência Florestal, v. 31, n. 3, p. 1512-1534. DOI: 10.5902/1980509848105.

Pielou, E. C. (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology, v. 13, p. 131-144.

Plano Ekos. (2020) Proposta de monitoramento da biodiversidade terrestre. Belo Horizonte: Fundação Renova Instituto Ekos Brasil, 197p.

Poorter, L. Craven, D. Jakovac, C. C. Van Der Sande, M. T. Amissah, L. Bongers, F. Chazdon, R. L. Farrior, C. E. et al. (2021) Multidimensional tropical forest recovery. Science, v. 374, n. 6573, p. 1370-1376.

Rafael, J. A. Melo, G. A. R. Carvalho, C. J. B. Casari, S. A. Constantino, R. (2012) Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia. Ribeirão Preto: Holos Editora, 796p.

Reparação Bacia do Rio Doce. (2024) Reparação Bacia do Rio Doce – site oficial. Disponível em: Reparação Bacia do Rio Doce. Acesso em: 12 jan. 2026.

Resende, N. F. (2012) Mudanças do uso da terra no Cerrado sobre comunidade de besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). Revista Brasileira de Gestão e Engenharia, v. 5, p. 87-102. Disponível em: Revista Brasileira de Gestão e Engenharia. Acesso em: 12 jan. 2026.

Ricklefs, R. E. Relyea, R. (1996) A economia da natureza. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 470-470.

Rosenfield, M. F. Müller, S. C. (2020) Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar a restauração ecológica de ecossistemas. Oecologia Australis, v. 24, n. 3, p. 550-565. DOI: 10.4257/oeco.2020.2403.02.

Sampaio, J. A. (2010) Levantamento e grupos tróficos de coleópteros cursores de solo em Sergipe: importância dos coleópteros como indicadores do processo de recuperação florestal. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – São Cristóvão – SE, Universidade Federal de Sergipe – UFS, 38p.

Schneider, C. R. Angelo, D. H. Angelo, A. C. Behling, A. Ríos, R. C. Blum, C. T. (2023) Espécies, práticas silviculturais e monitoramento: estratégias para restauração ecológica de áreas protegidas da Mata Atlântica. Ciência Florestal, v. 33, n. 4, e74057, p. 1-22. DOI: 10.5902/1980509874057.

Schoolmeesters, P. (2024) World Scarabaeidae Database. Version 2024-10-09. In: Catalogue of Life. Amsterdam: Catalogue of Life. Disponível em: World Scarabaeidae Database. Acesso em: out. 2024.

Silva, F. A. B. Hernández, M. I. M. Ide, S. Moura, R. C. (2007) Comunidade de escarabeíneos (Coleoptera, Scarabaeidae) copro-necrófagos da região de Brejo

Novo, Caruaru, Pernambuco, Brasil. Revista Brasileira de Entomologia, v. 51, n. 2, p. 228-233. DOI: 10.1590/S0085-56262007000200014.

Silva, G. P. Silva, F. C. G. (2011) Besouros (Insecta: Coleoptera) utilizados como bioindicadores. Revista Congrega URCAMP, v. 7.

Silva, K. M. A. (2022) Resposta ecológica de besouros Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) a diferentes usos do solo na Amazônia oriental. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 52p.

Silva, K. N. G. da. (2026) Biologia, ecologia e serviços ecossistêmicos de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae). Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Cidade de Goiás, Departamento de Áreas Acadêmicas, Cidade de Goiás, 16p.

Silva, L. W. (2024) Comunidade de Scarabaeidae Latreille, 1802 (Insecta: Coleoptera) como bioindicadores: avaliação do impacto do desastre de Mariana-MG. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

Silva, P. G. D. Di Mare, R. A. (2012) Escarabeíneos copro-necrófagos (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae) de fragmentos de Mata Atlântica em Silveira Martins, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia. Série Zoologia, 102:197-205.

Singulano, M. A. Viana, F. D. F. Messias, M. C. T. B. (2023) Agricultura familiar e desenvolvimento territorial em uma região mineradora: o caso dos municípios de Mariana e Ouro Preto. Ouro Preto: Editora UFOP, 142p.

Slade, E. M. Mann, D. J. Lewis, O. T. (2011) Biodiversity and ecosystem function of tropical forest dung beetles under contrasting logging regimes. Biological Conservation, v. 144, n. 1, p. 166-174.

Souza, A. T. V. D. (2025) Ecologia, importância funcional e conservação dos besouros rola-bostas (Scarabaeinae). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 50p.

Souza, L. A. Sobreira, F. G. Prado Filho, J. F. (2005) Cartografia e diagnóstico geoambiental aplicados ao ordenamento territorial do município de Mariana – MG. Revista Brasileira de Cartografia, v. 57, p. 189-203.

Strahler, A. N. (1963) The Köppen climate classification system. In: Strahler, A. N. Physical Geography. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, p. 185-188.

Thakkar, B. Parik, P. H. (2016) A study on diversity and abundance of coleopterans in Gujarat, India. Journal of Entomology and Zoology Studies, v. 4, n. 5, p. 1082-1089.

Torábio, S. Leffler, A. J. Perkins, L. (2024) Importância da restauração de recursos coprófagos na manutenção de serviços ecossistêmicos. Ecological Solutions and Evidence, v. 5, e12297. DOI: 10.1002/2688-8319.12297.

Vaz, D. V. (2020) Análise das mudanças da cobertura da terra causadas pelo desastre de Mariana-MG utilizando séries temporais de índices de vegetação. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 94p.

Vaz-de-Mello, F. Z. (2000) Estado atual de conhecimento dos Scarabaeidae s. str. (Coleoptera: Scarabaeoidea) do Brasil. In: Martín-Piera, F. Morrone, J. J. Melic, A. (Ed.). Proyecto Iberoamericano de Biogeografía y Entomología Sistemática: PRIBES 2000. Zaragoza: Sociedad Entomológica Aragonesa, p. 183-195.

Vaz-de-Mello, F. Z. Bordin, B. R. (s.d.) Scarabaeidae. In: Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. Disponível em: Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. Acesso em: julho de 2026.

Zhouri, A. Valencio, N. Oliveira, R. Zucarelli, M. Laschefski, K. Santos, A. F. (2016) O desastre da Samarco e a política das afetações: classificações e ações que produzem o sofrimento social. Ciência e Cultura, v. 68, n. 3, p. 36-40.

Zuba, F. (2016) Quatro empresas e 22 pessoas se tornam rés por desastre em Mariana. G1. Disponível em: G1 – Quatro empresas e 22 pessoas se tornam rés por desastre em Mariana. Acesso em: 30 de janeiro de 2025.