

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**O impacto da mineração de lítio sobre a diversidade e funções ecossistêmicas
desempenhadas por besouros rola-bosta**

Fernanda de Sá da Silva
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

FERNANDA DE SÁ DA SILVA

O impacto da mineração de lítio sobre a diversidade e funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros rola-bosta

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Ricardo I. de Campos

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586i
2025
Silva, Fernanda de Sá da, 1996-
O impacto da mineração de lítio sobre a diversidade e
funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros rola-bosta /
Fernanda de Sá da Silva. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (52 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Ricardo Ildefonso de Campos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Biologia Geral, 2025.
Referências bibliográficas: f. 47-52.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.122>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Ecossistemas - Efeito da mineração. 2. Lítio - Minas e
mineração. 3. Scarabaeidae. 4. Animais do solo. I. Campos,
Ricardo Ildefonso de, 1978-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-Graduação
em Ecologia. III. Título.

CDD 22. ed. 577.275381

FERNANDA DE SÁ DA SILVA

O impacto da mineração de lítio sobre a diversidade e funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros rola-bosta

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 6 de março de 2025.

Assentimento:

Fernanda de Sá da Silva
Autora

Ricardo Ildelfonso de Campos
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 21/05/2025 às 18:48:46 e pelo orientador em 23/05/2025 às 10:49:47. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **WCNV.ZTUP.IRM9** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente, por me acompanhar e me dar forças em cada passo dessa caminhada!

Aos meus pais, Ana Carla e José Carlos, que não pouparam esforços para que eu sempre tivesse uma educação de qualidade!

Ao meu marido, Arthur, que tanto me incentivou e abraçou quando mais precisei! Eu não teria nem começado o mestrado se não fosse por você, obrigada por me levantar tantas vezes e por ser meu porto seguro!

Ao meu filho, Nicolas, que foi e é a minha motivação diária para ser uma mulher forte e determinada! Você é o meu mundo meu filho, cada conquista é principalmente por você!

Ao Prof. Fernando, Josival e Glauco, pela importantíssima colaboração com este trabalho, fazendo a identificação dos besouros e me ensinando mais um pouco sobre eles!

À Nádia, Deborah, Felipe, Caio e Eduardo, pela rede de apoio em campo e fora dele, vocês tornaram possível que esse trabalho fosse concluído, obrigada pelo ombro amigo e literalmente pela mão de obra no campo!

Aos meus amigos, que se tornaram tão essenciais para que eu levasse com mais leveza essa jornada! Eu também não teria chegado tão longe sem os conselhos e ajuda de vocês!

Ao meu professor e orientador, Ricardo Campos, que me guiou e me ensinou tanto desde a graduação! Obrigada por todo apoio e confiança!

À Universidade Federal de Viçosa, minha tão amada faculdade, por me dar momentos e aprendizados incomparáveis durante a graduação e o mestrado!

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia que me acolheu e foi vital na construção desse trabalho!

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

SILVA, Fernanda de Sá da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **O impacto da mineração de lítio sobre a diversidade e funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros rola-bosta.** Orientador: Ricardo Ildefonso de Campos.

A mineração de lítio tem crescido significativamente no Brasil e no mundo devido ao avanço tecnológico e à transição para uma matriz energética mais sustentável. No entanto, seus impactos sobre a biodiversidade e funções ecossistêmicas ainda são pouco conhecidos. Este estudo avaliou os efeitos da mudança do uso do solo causada pela mineração de lítio sobre a diversidade e os serviços ecossistêmicos desempenhados por besouros rola-bosta (Scarabaeinae). Esse trabalho foi desenvolvido na Companhia Brasileira de Lítio (CBL) localizada nos municípios de Divisa Alegre e Araçuaí, nordeste de Minas Gerais, Brasil. Nós comparamos a diversidade de besouros e suas funções ecológicas, como remoção de fezes, dispersão de sementes e bioturbação do solo, entre áreas com maiores e menores impactos gerados pela obtenção dos compostos de lítio comercial em suas duas fases principais: mineração e beneficiamento químico. Encontramos que, na planta de mineração, apenas a dispersão de sementes foi maior em áreas com maior atividade humana, enquanto as demais funções e a diversidade não diferiram. Na planta química da CBL, as áreas mais impactadas (pilhas de rejeito) apresentam menor abundância e riqueza de besouros, mas ao mesmo tempo, maior atividade de remoção de fezes e dispersão de sementes em comparação às áreas preservadas (fragmentos florestais). Provavelmente, matriz florestal da CBL, aliada a pequena escala espacial dessa mineradora, pode ter causado esse efeito positivo nas funções ecossistêmicas o que, apesar da perda de diversidade. Finalmente, incentivamos que outros estudos foquem em uma comparação entre os diferentes tipos de mineração (ex. ferro, bauxita, calcário) e o lítio sobre a biodiversidade e as funções ecossistêmicas para podermos definir se a obtenção desse tipo de metal alcalino é de fato menos danoso ao meio ambiente.

Palavras-chave: Matriz energética ; Macrofauna do solo ; Distúrbio; Conservação; Rejeito

ABSTRACT

SILVA, Fernanda de Sá da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025. **The impact of lithium mining on the diversity and ecosystem functions performed by dung beetles.** Adviser: Ricardo Ildfonso de Campos.

Lithium mining has grown significantly in Brazil and worldwide due to technological advancements and the transition to a more sustainable energy matrix. However, its impacts on biodiversity and ecosystem functions are still poorly understood. This study evaluated the effects of land-use change caused by lithium mining on the diversity and ecosystem functions performed by dung beetles (Scarabaeinae) at the Companhia Brasileira de Lítio (CBL), located in the municipalities of Divisa Alegre and Araçuaí, northeastern Minas Gerais, Brazil. To this end, we compared beetle diversity and their ecological functions, such as dung removal, seed dispersal, and soil bioturbation, across areas affected by lithium extraction in its two phases: mining and chemical processing. The results indicate that, at the mining site, only seed dispersal was higher in areas with greater human activity, while other functions and diversity did not differ. At CBL's chemical plant, the most impacted areas (tailings piles) showed lower beetle abundance and richness but higher dung removal and seed dispersal activity compared to preserved areas (forest fragments). Probably, the smaller spatial scale of lithium mining, compared to other types of mining, may have caused this positive effect on ecosystem functions, despite the diversity loss. Finally, we encourage further studies to focus on comparing different types of mining (e.g., iron, bauxite, limestone) and lithium in terms of their impact on biodiversity and ecosystem functions, so we can determine whether the extraction of this alkali metal is indeed less harmful to the environment.

Keywords: Energy matrix ; Soil macrofauna ; Disturbance ; Conservation ; Tailings

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Metodologia.....	10
Áreas de estudo.....	10
Desenho amostral – Etapa Planta de Mineração.....	10
Desenho amostral – Etapa Planta Química.....	15
Coleta de besouros – ambas as localidades.....	21
Experimento de Remoção de fezes, dispersão de sementes e bioturbação do solo - ambas as localidades.....	22
3. Análise de dados.....	24
4. Resultados.....	25
Fauna de besouros – Planta de Mineração.....	25
Fauna de besouros – Planta Química.....	25
Diversidade de besouros – Planta de Mineração.....	27
Diversidade de besouros – Planta Química.....	32
Funções ecossistêmicas – Planta de Mineração.....	34
Funções ecossistêmicas – Planta Química.....	37
5. Discussão.....	39
Diversidade de besouros – Planta de Mineração.....	40
Diversidade de besouros – Planta Química.....	41
Funções ecossistêmicas – Planta de Mineração.....	42
Funções ecossistêmicas – Planta Química.....	43
Implicações para conservação.....	45
Referências.....	47

1. Introdução

A degradação ambiental causada pelo homem tem sido tão intensa que foi dado ao atual período geológico o nome de Antropoceno (Collins, 2020; Lewis, 2015). Essa degradação afeta as diferentes esferas do planeta (ar, água, solo) e sua consequência mais drástica está sendo refletida por meio das mudanças climáticas globais (Kabir et al., 2023; Walther *et al.*, 2002). O ciclo biótico também é prejudicado por essas atividades de degradação, onde a biodiversidade é severamente reduzida. Uma das atividades que mais causa ameaça à biodiversidade é a mineração, visto que ela causa diversas alterações, tanto físicas quanto químicas ao ambiente (Sonter et al., 2018).

As alterações físicas estão associadas à formação de cavas para a extração dos minerais. Essas atividades, além de suprimir a vegetação, podem alterar drasticamente as propriedades do solo prejudicando sua capacidade de retenção de água. Isso acaba por tornar mais difícil a recuperação dessas áreas (Stumpf et al., 2014; Silva e Ferreira, 2015). As alterações químicas acontecem por meio da poluição do ar e pela contaminação do solo e/ou da água por rejeitos provenientes da atividade de escavação e retirada dos minerais do solo (Silva e Ferreira, 2015).

Os principais minerais explorados no mundo são ferro, alumínio e ouro (World Mining Data, 2024; Azevedo *et al.*, 2012;). Por outro lado, dado a transição energética, o lítio vem se tornando cada vez mais valioso devido ao seu crescente uso em baterias de íon-lítio (Kaunda, 2020). Estima-se que 87% do lítio explorado globalmente tem como finalidade a fabricação de baterias, 4% em cerâmica e vidro e 2% em graxas lubrificantes, além do uso do mesmo em medicamentos (U.S. Geological Survey, 2024; Zung et al., 2010). A utilização de baterias de íon Lítio para veículos automotores tem tornado esse mineral uma das commodities mais valiosas do planeta.

Na natureza, os minerais de lítio podem ser encontrados principalmente de duas formas, por meio de evaporitos e pegmatitos. Os evaporitos são obtidos em salmouras onde a taxa de evaporação é maior do que a reposição de água, logo o lítio se concentra junto a outros minerais e posteriormente é separado destes. No mundo, as principais reservas de salmouras de lítio ficam na Argentina, Chile e Bolívia, onde formam o chamado “triângulo do Lítio” (Haisheng Hu *et al.* 2024; Ye Zhang *et al.*, 2019). Já na Austrália, no Brasil e no Canadá, por exemplo, o Lítio é encontrado em

rochas conhecidas como pegmatitos (Braga & Sampaio, 2008; Lopes, 2019; Sterba *et al.*, 2019). Os pegmatitos são compostos por vários minerais, sendo um deles o espodumênio de onde são extraídos os compostos de lítio (Navarro *et al.*, 2017). No Brasil, mais especificamente no norte do estado de Minas Gerais, a exploração de lítio é feita por mineração em cavas subterrâneas e posterior beneficiamento químico. Dessa forma, essa obtenção do lítio é dividida em duas etapas: i) etapa física: extração de espodumênio de rochas pegmatitas por meio de minas subterrâneas e ii) etapa química: processo de beneficiamento químico do espodumênio que vai gerar os compostos de interesse, como o carbonato de lítio e hidróxido de lítio, e os respectivos rejeitos, sendo o principal o silicato de alumínio.

A indústria do Lítio, tem como uma de suas principais bandeiras a ideia de um mineral verde de baixo impacto ao meio ambiente. No entanto, os estudos acerca do efeito do lítio sobre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema ainda são escassos. Por exemplo, é esperado que sua exploração por meio de mineração irá causar uma simplificação do habitat o que poderia prejudicar a biodiversidade e as funções ecossistêmicas. Infelizmente, em relação ao tipo de mineração de lítio realizada no Brasil, não existem estudos que testaram o efeito da mesma sobre a biodiversidade e funções ecossistêmicas. Assim, ainda é impossível inferir se a mesma é de fato menos prejudicial ao meio ambiente que outros tipos de mineração (Agusdinata, 2020; Kaunda, 2020).

Dentre os organismos possivelmente afetados pela mineração de lítio, estão a macrofauna terrestre, por serem intrinsecamente relacionados com a qualidade física e química do solo. Um dos principais componentes dessa fauna são os besouros escarabeíneos que fazem parte de um grupo com ampla distribuição global, presentes em diversos ecossistemas, eles desempenham diversas funções ecossistêmicas como dispersão de sementes, bioturbação do solo e ciclagem de nutrientes (Nichols *et al.*, 2007; Nichols *et al.*, 2008). Os besouros podem trazer benefícios como uma eficiência maior na mineralização de nitrogênio no solo (Yokoyama e Kai, 1993; Yokoyama *et al.*, 1991a,b) e aumento da disponibilidade de nutrientes como fósforo, potássio, manganês e cálcio no solo (Bertone, 2004; Galbiati *et al.*, 1995; Lastro, 2006; Yamada *et al.*, 2007). Além disso, aumentam a eficiência na dispersão de sementes pós-primária, diminuindo a chance de patógenos e predação (Andresen e Levey, 2004). Os besouros escarabeíneos são excelentes bioindicadores, sendo

frequentemente utilizados como foco de estudos sobre impactos antrópicos, visto que respondem rapidamente a perturbações ambientais (Correa *et al*, 2020; Nichols *et al*, 2007).

A partir disso, nosso objetivo geral é analisar por meio de experimentos, os possíveis impactos da mineração de lítio sobre a diversidade e as funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros escarabeíneos. Mais especificamente, mensuramos como a diversidade de besouros e suas funções respondem a mudanças do uso do solo causadas pelas duas principais etapas do processo de obtenção do lítio: mineração e beneficiamento químico. Como objetivos específicos pretendemos responder duas perguntas. i) Existe um efeito da distância e do tipo de distúrbio sobre a diversidade e funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros escarabeídeos na etapa de mineração do lítio? ii) A estrutura de comunidades e funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros escarabeídeos é alterada pela mudança do uso do solo causada pela mineração de Lítio em sua fase de beneficiamento químico? Os resultados obtidos aqui poderão agregar informações para ajudar a responder uma das grandes questões ambientais do presente momento: se a obtenção de Lítio é de fato menos prejudicial ao meio ambiente, quando comparada a obtenção de combustíveis fósseis.

2. Metodologia

Área de estudo

Desenho amostral: Etapa planta de mineração – Araçuaí – MG

Essa etapa foi realizada no interior e nos arredores na planta de mineração da Companhia Brasileira de Lítio (CBL) em março e abril de 2023 no município de Araçuaí, situada na rodovia BR367, Km 276, Mina da Cachoeira (16° 51' 00" S, 42° 04' 12" W), nordeste do estado de Minas Gerais (Vale do Jequitinhonha). Esse local possui uma vegetação predominantemente de transição dos biomas Cerrado e Caatinga, clima tropical (Pacheco, 2021), porém com alguns resquícios de Mata Atlântica. Neste município é realizada primeiramente a extração do minério Pegmatito em minas subterrâneas. Ainda nesse local as rochas obtidas são fragmentadas e transportadas para a próxima etapa, que é a britagem e rebitagem. Esse processo

tem como objetivo a separação do concentrado de espodumênio de outros minerais presentes nas rochas, como quartzo, feldspato, muscovita e xisto. Finalmente, o concentrado de espodumênio passa por um processo de purificação ainda na planta de mineração e aí sim é transportado para a planta de beneficiamento químico localizada em Divisa Alegre - MG.

Em Araçuaí, com intuito de explorar a maior parte das atividades antrópicas realizadas na planta de mineração, selecionamos quatro áreas distintas para as nossas coletas de dados. Dado o longo histórico de degradação da mina, não foram encontrados em um raio de 50 Km ao redor da mina, nenhuma área mais bem conservada de vegetação nativa e por isso ficamos impedidos de incluir fisionomia vegetal de referência (controle – não antropizado) no nosso desenho amostral. Por isso, com intuito de verificar se existe um efeito local da distância do distúrbio sobre a diversidade e funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros, decidimos por estabelecer transectos que partiam desde locais bem próximos (cerca de 10 metros) até um pouco mais afastados (cerca de 130 metros) das áreas de uso intensivo da mina. Ademais, escolhemos como nossos locais de coleta, aqueles que estivessem sobre os principais processos que geram distúrbios dentro da planta de mineração, sendo eles: i) mina; ii) beneficiamento; iii) pilha xisto e iv) pilha F4 (Figuras 1 e 2).

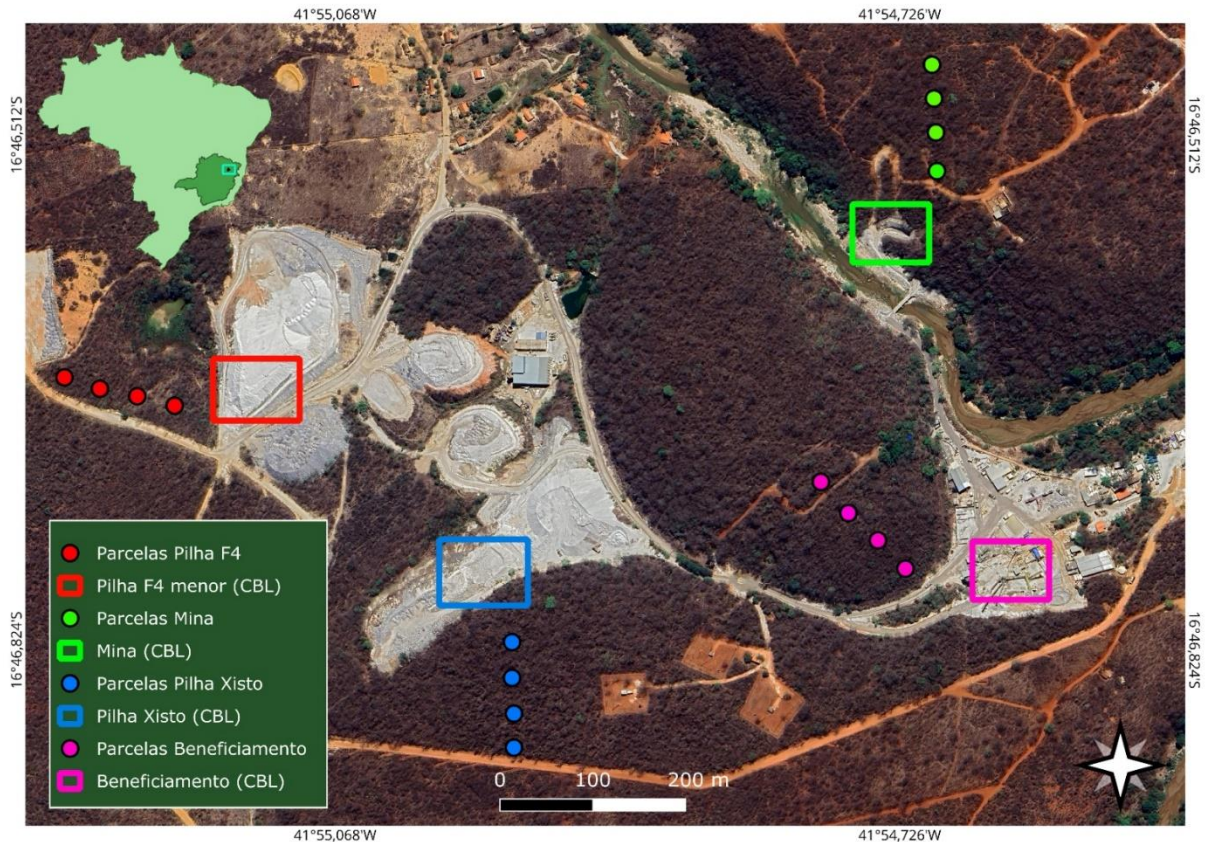


Figura 1: Mapa do local de estudo em Araçuaí – MG, os retângulos estão representando a área do impacto, enquanto os pontos representam cada uma das quatro parcelas

A área da mina recebeu esse nome pois estava localizada a aproximadamente 10 metros da entrada da Mina da Cachoeira, principal mina subterrânea onde ocorre a lavra do pegmatito litinífero, tendo ela galerias com até 220m de profundidade e 14km de extensão (Figura 3).

A área de beneficiamento se localiza perto de toda “área uso intensivo” da CBL, onde se encontram os escritórios, a manutenção e também o processo de beneficiamento em si (Figura 4), que se dá por meio das seguintes etapas: britagem primária, peneiramento a seco, rebritagem, peneiramento a úmido e concentração por meio denso. Além do tráfego de pessoas e máquinas, há também nesse ponto o distúrbio sonoro vindos dos equipamentos da área de beneficiamento.

A área denominada pilha xisto são constituídas por minérios de biotita xisto, uma rocha estéril, que são obtidas no processo de britagem e rebritagem após a separação do concentrado de espodumênio (Figura 5). Esse mineral é empilhado por caminhões formando montes que chegam a mais de 3 metros de altura. Esse mineral

é retirado de tempos em tempos como doação à prefeitura de Araçuaí para uso em calçamentos de ruas e base de construção civil.

A área denominada pilha F4 são também obtidas no processo de britagem e rebitagem após a separação do concentrado de espodumênio. Esse composto F4 contém uma mistura dos minerais feldspato potássico, sódico, quartzo, muscovita, biotita xisto e uma pequena proporção de espodumênio (Figura 6). As pilhas de F4 possuem duas faixas granulométricas, uma maior e uma menor, por isso o nome F4 maior e menor. Sua destinação é variável e enquanto boa parte permanece na mina formando as pilhas, uma pequena parte é utilizada para a asfaltamento de rodovias.

Nas quatro áreas de coleta acima descritas, são encontradas espécies vegetais típicas dos Biomas Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga, sendo um local caracterizado como uma região ecótone. Segundo a classificação de *Köppen*, o clima da região é do tipo *Bsw*, ou seja, climas áridos ou semiáridos com baixa precipitação, vegetação mais predominante de gramíneas e arbustos e a época mais seca ocorrendo no inverno.

Em cada uma das quatro áreas de estudo foram demarcadas quatro parcelas de 10 por 10m separadas por 30m umas das outras. Essas parcelas foram posicionadas de forma que a primeira delas ficasse a 10m do impacto, e as três subsequentes a 50m, 90m e 130m das parcelas sendo então denominadas parcelas 10, 50, 90 e 130 respectivamente.

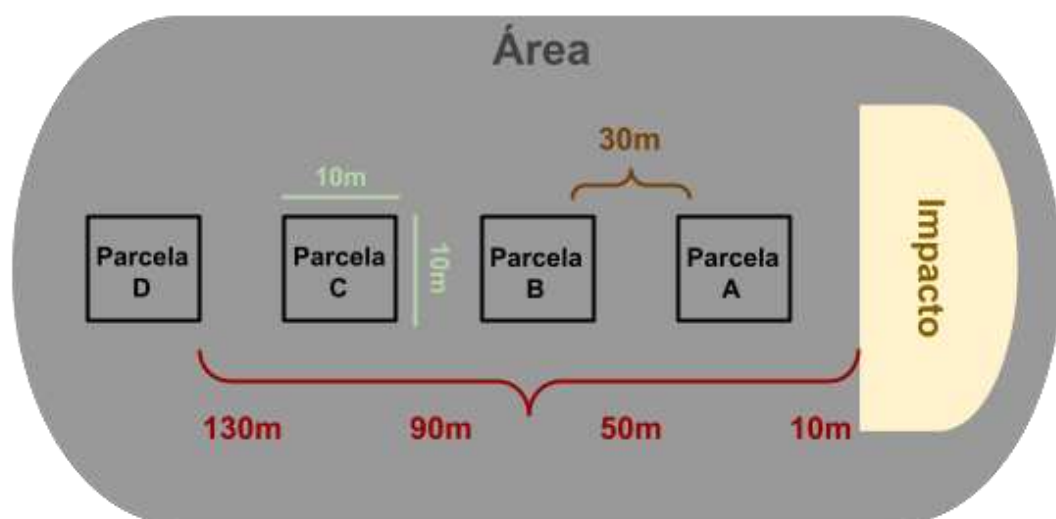


Figura 2: Esquema meramente ilustrativo do desenho experimental nas áreas onde foram conduzidas as coletas de dados em Araçuaí - MG.



Figura 3: Vegetação predominante de uma das parcelas na área denominada como Mina, em Araçuaí – MG.



Figura 4: Vegetação predominante de uma das parcelas na área denominada como Beneficiamento, em Araçuaí - MG.



Figura 5: Vegetação predominante de uma das parcelas na área denominada como Pilha Xisto, em Araçuaí - MG.



Figura 6: Vegetação predominante de uma das parcelas na área denominada como Pilha F4, em Araçuaí - MG.

Desenho amostral: Etapa planta química – Divisa Alegre – MG

A etapa da planta química foi realizada em abril e maio de 2022, no município de Divisa Alegre, localizado no nordeste do estado de Minas Gerais, situado no Vale do Jequitinhonha. Esta região possui clima tropical subúmido (Nimer e Brandão, 1999) e é caracterizada pela vegetação do bioma Mata Atlântica (IBGE, 2019). Nesta cidade está localizada a Planta Química da Companhia Brasileira de Lítio (CBL), situada na

Rodovia BR 116, Km 3,5 (15° 43' 33" S, 41° 20' 42" W). Nesse local é realizado o beneficiamento químico do concentrado de espodumênio para a produção dos compostos do lítio, como o Carbonato de Lítio, Hidróxido de Lítio Monoidratado e Sulfato de sódio. Esses compostos que vão ser utilizados nas indústrias de medicamentos, baterias, lubrificantes e graxas de alto desempenho. O resultado do beneficiamento químico do espodumênio gera como principal rejeito o silicato de alumínio, um pó branco de baixa granulometria que é acumulado em pilhas ao redor da planta química.



Figura 7: Mapa do local de estudo em Divisa Alegre – MG, o contorno em laranja representa a área onde se encontra a Companhia Brasileira de Lítio, enquanto os pontos representam cada uma das áreas estudadas, tanto dentro quanto fora da empresa.

Em Divisa Alegre, com intuito de explorar a maior parte das atividades antrópicas realizadas na planta química foram determinadas cinco áreas distintas para nossas coletas de dados (Figura 7). Estas foram assim denominadas: i) Mata Parque ii) Mata CBL iii) Capoeira Parque iv) Pilha 1 e v) Pilha 2.

A Mata Parque se trata de um fragmento de mata secundária mais preservada, localizada dentro de um parque municipal da cidade de Divisa Alegre, situado nos

arredores na CBL. Vegetação caracterizada por árvores majoritariamente de porte baixo e troncos finos, provavelmente refletindo o clima da região (Figura 8).

Já a segunda área de mata (Mata CBL), também é um fragmento de mata secundária, com vegetação semelhante à da Mata Parque, porém visivelmente menos preservada, por se encontrar dentro da empresa CBL (Figura 9), possivelmente tendo mais interferência humana do que a Mata Parque.

A área Capoeira Parque é composta, majoritariamente, por capim agulha (*Trachypogon spicatus*) e vegetação arbustiva, ela fica localizada próxima ao Parque Municipal de Divisa Alegre (Figura 10). Apresenta características semelhantes às das pilhas de rejeito, tendo também um solo mais compacto do que os fragmentos de mata.

Já as duas pilhas de rejeito se localizam dentro da planta química da CBL. Essas pilhas foram ativadas em 1992, onde se iniciou um processo de acúmulo de silicato de alumínio até ano de 2017, onde as mesmas foram desativadas. Depois disso, essas pilhas foram cobertas com uma pequena camada de solo argiloso (Parecer Companhia Brasileira de Lítio (2023, p. 11) – “Estas duas pilhas foram topograficamente reconfiguradas para obter estabilidade estrutural e foram impermeabilizadas com camada de argila compactada e revegetadas com sistema de hidro-semeadura.”) onde foram inseridas algumas espécies de gramíneas e arbustos por meio de hidrossemeadura. Apesar do nome e aparência de pilha o subproduto na verdade é depositado em condições de aterro, que são as condições de controle ambiental necessárias, ambas possuem um sistema de drenagem com canaletas que direcionam a água para uma piscina revestida de lona. Assim, o aspecto geral das pilhas atualmente se assemelha muito a uma pastagem artificial elevada (Figura 11 e 12).



Figura 8: Fragmento de mata secundária localizado dentro do Parque Municipal, denominado Mata Parque (Divisa Alegre - MG).



Figura 9: Fragmento de mata localizada dentro da Companhia Brasileira de Lítio, denominada Mata CBL (Divisa Alegre - MG).



Figura 10: Área de capoeira, localizada próxima ao Parque Municipal, denominada Capoeira Parque (Divisa Alegre - MG).



Figura 11: Pilha de rejeito revegetada, denominada Pilha 1 (Divisa Alegre - MG).



Figura 12: Pilha de rejeito revegetada, denominada Pilha 2 (Divisa Alegre - MG).

O tamanho e a escala do desenho experimental foram adaptados de acordo com o tamanho das áreas dentro e nos arredores da planta química da CBL. Assim, em cada uma das cinco áreas de estudo foram demarcadas quatro parcelas de 15x15m com estacas de madeira e barbantes, distantes 30m uma das outras, para a execução dos experimentos (Figura 13).

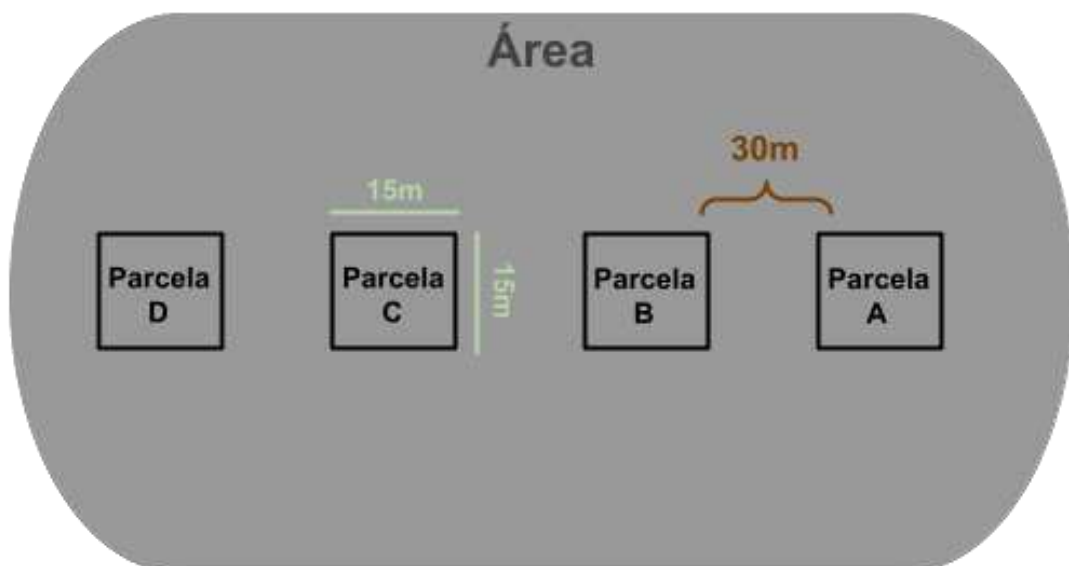


Figura 13: Esquema meramente ilustrativo do desenho experimental nas áreas onde foram conduzidas as coletas de dados em Divisa Alegre – MG – planta química CBL.

Coleta de besouros – ambas as localidades

Para capturar os besouros foram realizadas amostragens compostas utilizando armadilhas do tipo *pitfall*. Assim, tanto na planta de mineração quanto na planta química foram uma amostra composta por parcela (Figura 13). Cada amostra composta foi proveniente de três *pitfalls* que consistiram em potes plásticos com 1L de volume. Esses *pitfalls* foram iscados com 30g fezes suínas que foram colocadas em um copo de café, foi feito um suporte de arame para que o copo com as fezes ficasse posicionado ao nível e no centro da borda do pote. Os *pitfalls* foram enterrados de forma que ficassem na mesma altura do solo e foram preenchidos com cerca de 500 ml água e detergente. Eles foram colocados em cada parcela (Figuras 14 e 15) formando uma trinca, com distância de 2m uns dos outros. Os *pitfalls* foram retirados após 48h de funcionamento e seu conteúdo foi condicionado em potes plásticos (coletores universais) e levados ao laboratório na UFV. Os besouros coletados foram triados, fixados, montados e identificados por taxonomistas de Scarabaeidae: Fernando Augusto Barbosa Silva e Josival Franciso Araújo ambos da Universidade Federal do Pernambuco (UFPE campus Serra Talhada).

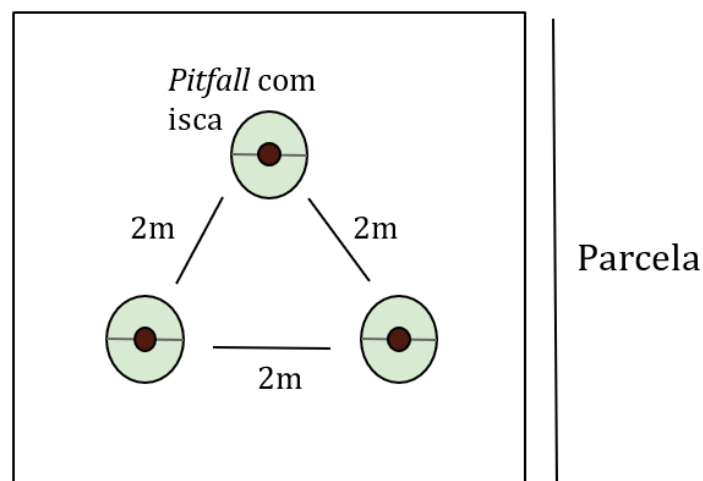


Figura 14 - Disposição das armadilhas do tipo *pitfall* iscas das com fezes de suínos. Foi utilizada uma armadilha composta proveniente de três *pitfalls* com isca, que forma colocados a uma distância de 2m uns dos outros, dentro de cada parcela (figura 3).

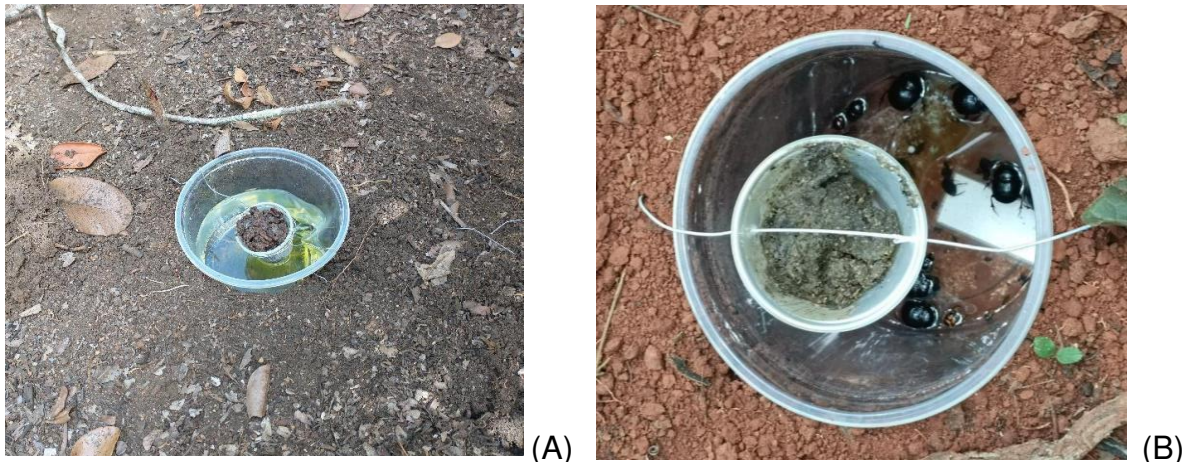


Figura 15 - Execução do experimento de diversidade utilizando *Pitfall* com isca (fezes suínas) em uma das parcelas das áreas de estudo do município de Divisa Alegre (A) e de Araçuaí (B).

Experimento de Remoção de fezes, dispersão de sementes e bioturbação do solo - ambas as localidades

Para esse experimento, criamos uma arena, que seria uma pequena área cercada, envolta por uma tela de nylon de 1m de diâmetro e 20cm de altura sustentada por palitos de churrasco. No centro dessa arena foram depositados 400g de fezes suínas misturadas com 60 miçangas, que tiveram como finalidade mimetizar as sementes, de três tamanhos diferentes, 20 grandes (8mm), 20 médias (5mm) e 20 pequenas (2mm) (Figura 16 e 17). O uso de miçangas de tamanhos diferentes teve como objetivo observar se os besouros dispersam mais sementes grandes, médias ou pequenas. Mais uma vez, tanto na planta de mineração quanto para a planta química foram colocadas uma arena por parcela (Figuras 2 e 13). Após 24h as fezes foram recolhidas para pesagem e contagem das miçangas (adaptado de Braga, 2013) (Figura 18). Além disso também foi feito o controle da umidade, utilizando 20g de fezes suínas dentro de um voal suspenso por um palito de churrasco, próximo as fezes do centro da arena, esses também foram retirados após 24h e pesados. A diferença obtida no peso das fezes do voal foi levada em consideração na análise de remoção de fezes, visto que esta representou a perda de peso originada da perda de água e não da atividade dos besouros.

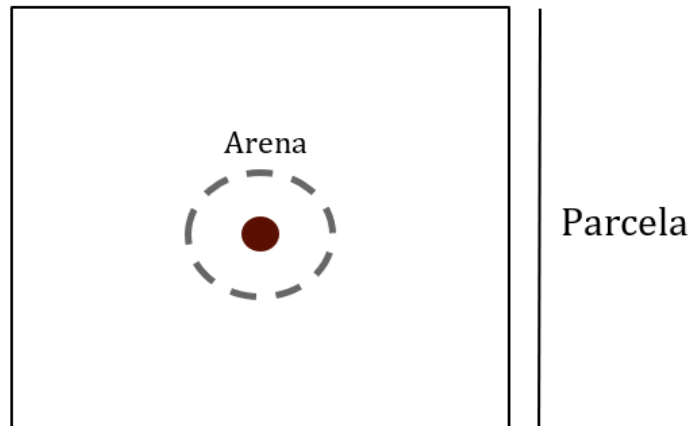


Figura 16: Esquema ilustrativo representando a arena para o experimento de remoção de fezes, disposta no centro da parcela.



Figura 17: Arena para a execução do experimento de funções ecossistêmicas em uma parcela.



Figura 18: Fezes suínas coletadas após 24h de experimento para pesagem e análise de dispersão de sementes.

Utilizando essa mesma arena descrita acima, fizemos uma amostragem com o objetivo de medir a função bioturbação do solo realizada pelos besouros. Para isso, o solo revolvido pelos besouros durante a atividade dos mesmos ficou depositado próximo as fezes e próximo a cavidades no solo (Figura 19), este foi recolhido com o auxílio de uma pá e pesado após 24h de experimento.



Figura 19: Solo revolvido após 24h de experimento dentro de uma das arenas.

3. Análise de dados

Para avaliar a influência do tipo de distúrbio sobre a diversidade e funções ecossistêmicas de besouros escarabeídeos as análises foram realizadas separadamente para cada etapa (planta química - Divisa Alegre e planta de mineração - Araçuaí). Para cada etapa as áreas de amostragem foram consideradas variáveis explicativas e a i) riqueza e abundância de besouros, ii) peso de fezes removidas, iii) peso de solo revolvido e iv) número de miçangas dispersadas foram consideradas como variáveis respostas. Para os dados da planta de mineração também consideramos como variável explicativa as distâncias do distúrbio. Utilizamos modelos lineares para as variáveis que apresentaram distribuição normal, conforme indicado pelo teste de Shapiro. Para as variáveis que não seguiram a normalidade, aplicamos modelos lineares generalizados (GLM), utilizando a família “gaussian” para dados contínuos normalmente distribuídos, e a família “Poisson” ou “quasipoisson” para dados de contagem para o ajuste dos modelos. A diferença entre as áreas de cada etapa foi testada através de análises de contrastes par a par. Todas as análises foram seguidas por análises de resíduos, para verificar a adequabilidade dos modelos e

distribuições utilizando o pacote “*DHARMA*”, e recorrendo à transformação logarítmica utilizando a função *log* para ajuste na distribuição dos dados, quando necessário. Para avaliar a influência do distúrbio em cada etapa na composição de espécies utilizamos uma análise de coordenadas principais (PCoA) com matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis (considerando a abundância relativa das espécies), seguida pela análise de PERMANOVA para testar a hipótese de que as diferenças nas composições entre os grupos eram significativas. Para comparar a riqueza total acumulada entre as áreas amostrais, utilizamos uma análise de rarefação (Gotelli and Cowell, 2001) seguida de extrapolação (Chao *et al.* 2014). Todas as análises foram feitas na plataforma R 4.3.1 (R Core Team 2024).

4. Resultados

Fauna de besouros – planta de mineração

Na planta de mineração (município de Araçuaí) foram coletados no total 343 indivíduos de besouros pertencentes a 14 espécies (Tabela 1). As duas espécies mais abundantes foram a *Canthon (Francmonrosia) aff. rutilans* e *C. histrio* com 104 e 123 indivíduos respectivamente, ambas fazem parte da tribo Deltochilini.

Fauna de besouros – planta química

Na planta química (município de Divisa Alegre), foram coletados no total 258 indivíduos de besouros pertencentes a 23 espécies (Tabela 2). As duas espécies mais abundantes foram, a *Canthon (Francmonrosia) aff. rutilans* da tribo Deltochilini e *Onthophagus sp.* da tribo Onthophagini com 85 e 60 indivíduos respectivamente.

Tabela 1 – Número de indivíduos de cada espécie de besouro coletada nas quatro áreas (Mina, Beneficiamento, Pilha Xisto e Pilha F4) da planta de mineração em Araçuaí.

Tribes / Species	ARAÇUAÍ					GILDAS FUNCIONAIS
	N	M	B	X	F	
Ateuchini						
<i>Ateuchus semicribratus</i> (Harold, 1868)	9	2	2	0	5	Escavadores
<i>Trichillum externepunctatum</i> Borre, 1880	2	0	0	1	1	Residentes
Coprini						
<i>Ontherus appendiculatus</i> (Mannerheim, 1829)	7	0	2	5	0	Escavadores
<i>Ontherus digitatus</i> Harold, 1868	9	2	1	4	2	Escavadores
<i>Ontherus zikani</i> Luederwaldt, 1930	1	0	0	1	0	Escavadores
Dichotomiini						
<i>Dichotomius (Dichotomius) bos</i> (Blanchard, 1845)	7	1	4	1	1	Escavadores
<i>Dichotomius (D.) semiaeneus</i> (Germar, 1823)	1	0	0	0	1	Escavadores
<i>Dichotomius (Selenocopris) nisus</i> (Olivier, 1789)	23	3	4	10	6	Escavadores
Deltochilini						
<i>Canthon (Canthon) chalybaeus</i> Blanchard, 1843	1	0	0	0	1	Roladores
<i>Canthon (Francmonrosia) aff. rutilans</i> Laporte, 1840	104	12	25	46	21	Roladores
<i>Canthon (Glaphyrocantion) simulans</i> (Martinez, 1950)	1	0	0	1	0	Roladores
<i>Canthon histrio</i> (Le Peletier de Saint-Fargeau & Audinet-Serville, 1828)	123	17	39	22	45	Roladores
Onthophagini						
<i>Onthophagus</i> sp.	50	1	11	14	24	Escavadores
Phanaeini						
<i>Coprophanæus (Metallophanæus) pertyi</i> (Olsoufieff, 1924)	5	2	1	0	2	Escavadores
Total individuals	343	40	89	105	109	
Total species	14					

A coluna **N** representa o número total de indivíduos coletados em todas as áreas, enquanto a coluna **M** = Mina, **B** = Beneficiamento, **C** = Capoeira, **X** = Pilha Xisto e **F** = Pilha F4

Tabela 2 – Número de indivíduos de cada espécie de besouro coletada nas cinco áreas (Mata Parque, Mata CBL, Capoeira, Pilha 1 e Pilha 2) da planta de química em Divisa Alegre.

Tribes / Species	DIVISA ALEGRE						GILDAS FUNCIONAIS
	N	MP	MC	C	P1	P2	
Ateuchini							
<i>Ateuchus semicribratus</i> (Harold, 1868)	3	0	0	2	1	0	Escavadores
<i>Ateuchus histrio</i> (Balthasar, 1939)	19	18	1	0	0	0	Escavadores
<i>Genieridium bidens</i> (Balthasar, 1938)	1	0	0	1	0	0	Residentes
<i>Trichillum externepunctatum</i> Borre, 1880	3	0	0	3	0	0	Residentes
Coprini							
<i>Canthidium</i> sp.1	1	0	1	0	0	0	Escavadores
<i>Canthidium</i> sp.2	1	0	1	0	0	0	Escavadores
<i>Canthidium manni</i> Arrow, 1913	3	2	0	1	0	0	Escavadores
<i>Ontherus digitatus</i> Harold, 1868	7	4	1	2	0	0	Escavadores
Dichotomiini							
<i>Dichotomius (Cephagonus) reichei</i> (Harold, 1869)	3	0	3	0	0	0	Escavadores
<i>Dichotomius (Dichotomius) bos</i> (Blanchard, 1845)	1	0	0	1	0	0	Escavadores
<i>Dichotomius (D.) aff. depressicollis</i> (Harold, 1867)	2	2	0	0	0	0	Escavadores
<i>Dichotomius (Selenocopris) nisis</i> (Olivier, 1789)	10	1	0	4	5	0	Escavadores
Deltochilini							
<i>Canthon (C.) aff. piluliformis</i> Blanchard, 1845	2	2	0	0	0	0	Roladores
<i>Canthon (Francmonrosia) aff. rutilans</i> Laporte, 1840	85	66	17	2	0	0	Roladores
<i>Canthon (Glaphyrocanton) simulans</i> (Martinez, 1950)	16	0	0	12	2	2	Roladores
<i>Canthon histrio</i> (Le Peletier de Saint-Fargeau & Audinet-Serville 1828)	7	0	0	7	0	0	Roladores
<i>Canthon aff. unicolor</i> Blanchard, 1845	3	3	0	0	0	0	Roladores
<i>Deltochilum (Deltohyboma) sp.</i>	8	5	3	0	0	0	Roladores
Oniticellini							
<i>Eurystemus caribaeus</i> (Herbst, 1789)	9	7	2	0	0	0	Residentes
<i>Eurystemus hirtellus</i> Dalman, 1824	6	0	3	1	2	0	Residentes
<i>Eurystemus navajasi</i> Martinez, 1988	5	5	0	0	0	0	Residentes
<i>Eurystemus nigrovirens</i> Génier, 2009	3	1	2	0	0	0	Residentes
Onthophagini							
<i>Onthophagus</i> sp.	60	35	8	7	6	4	Escavadores
Total individuals	258	151	42	43	16	6	
Total species	23						

A coluna **N** representa o número total de indivíduos coletados em todas as áreas, enquanto a coluna **MP** = Mata Parque, **MC** = Mata CBL, **C** = Capoeira, **P1** = Pilha 1 e **P2** = Pilha 2.

Diversidade de besouros – Planta de mineração

A abundância de besouros não diferiu entre as áreas ($F_{(3,12)} = 1.46$, $p = 0.27$), observamos ainda a distância dos pontos de coleta e o número de indivíduos

coletados de acordo com as mesmas, ainda assim a abundância de besouros não diferiu entre as distâncias ($F_{(1,14)} = 0.06$, $p = 0.81$) (Figura 20A, B).

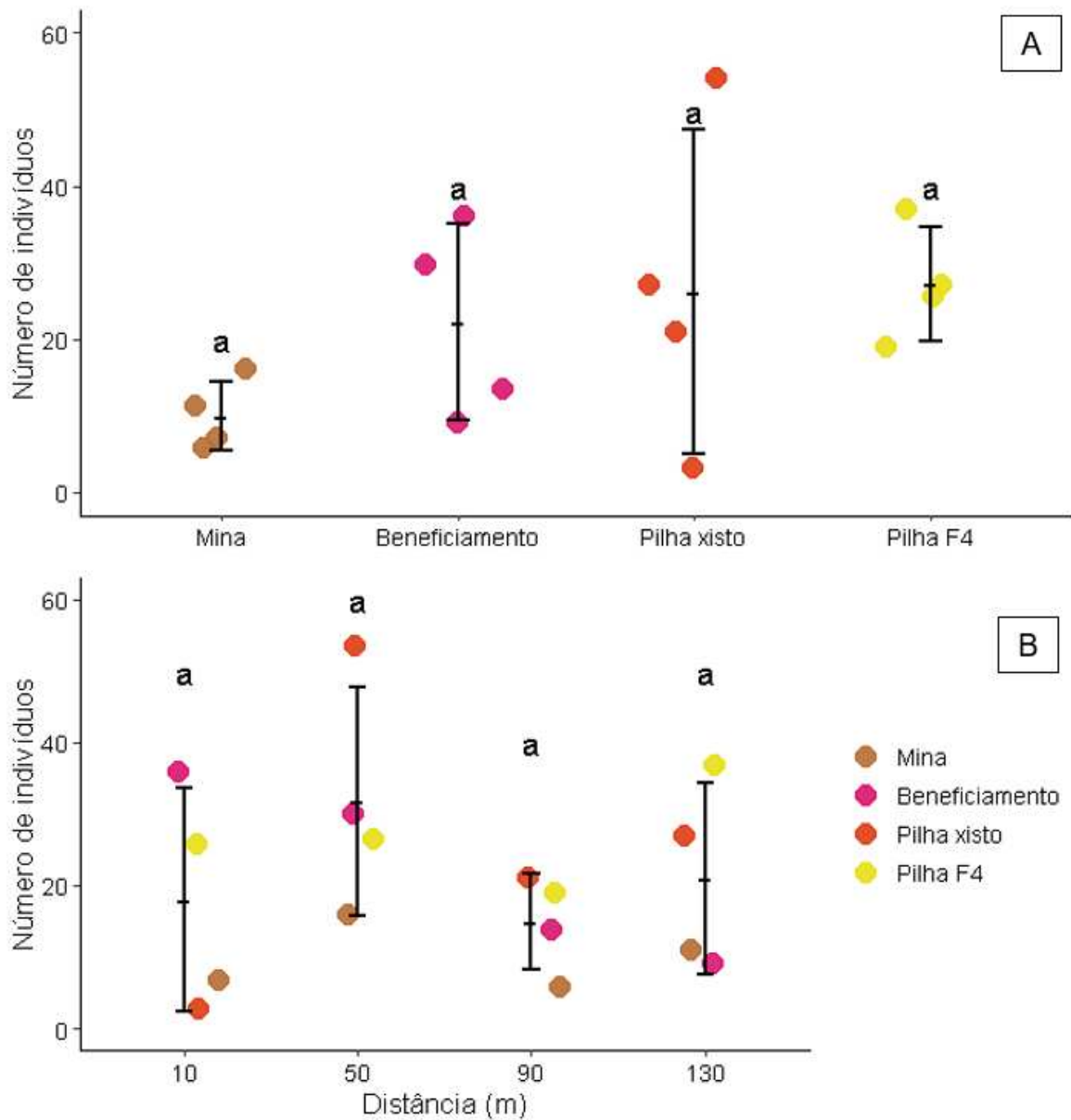


Figura 20: Relação entre número de besouros coletados por parcela e as diferentes áreas de estudo (A) e relação entre o número de indivíduos coletados e a distância dos pontos de coleta (B). Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área. As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

Notamos também que a riqueza média de besouros não diferiu entre as áreas ($F_{(3,12)} = 0.90$, $p = 0.46$), mesmo observando a distância entre os pontos de coleta, não houve diferença ($F_{(1,14)} = 0.45$, $p = 0.51$) (Figura 21A, B).

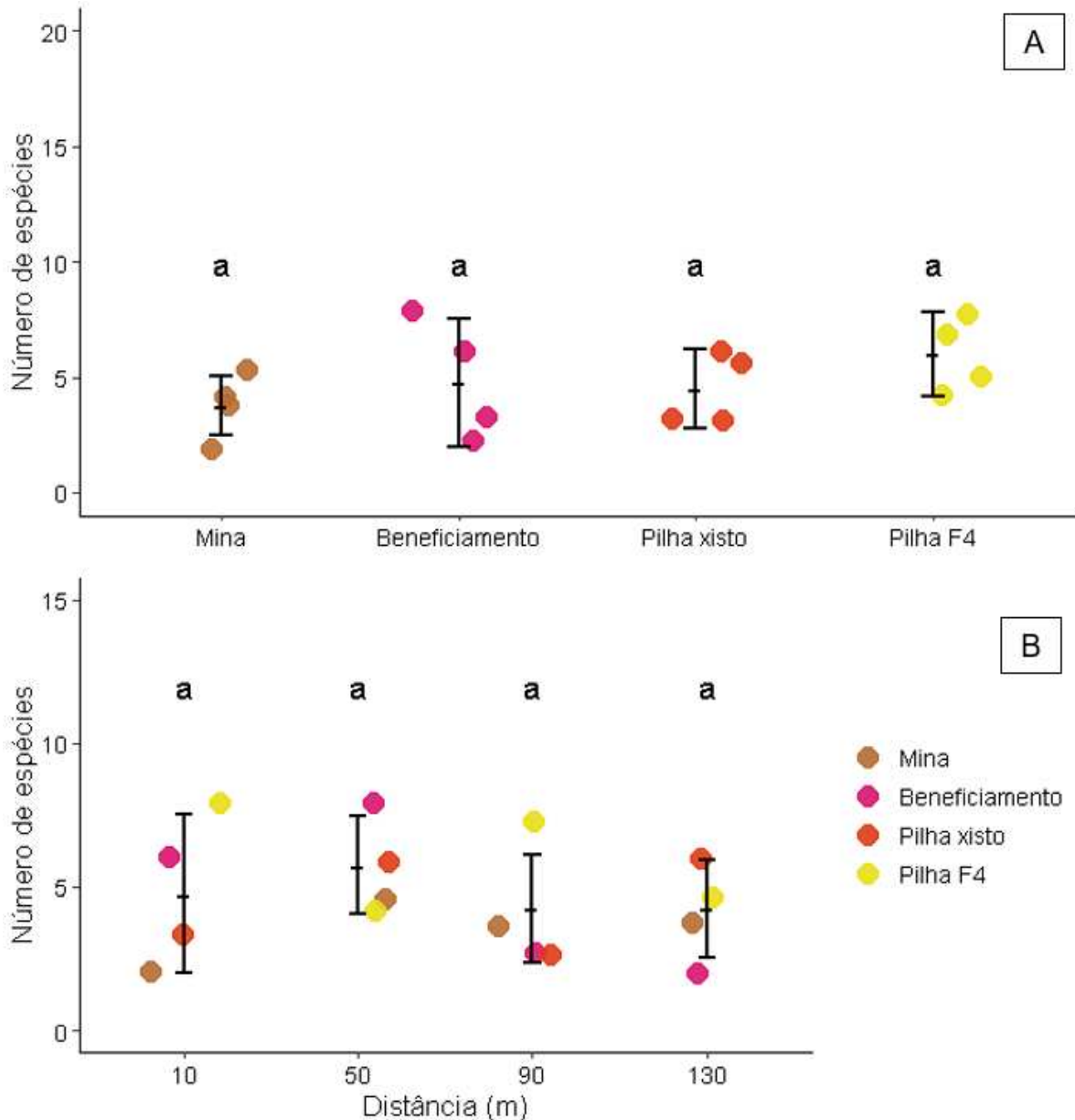


Figura 21: Relação entre número de espécies besouros coletados por parcela e as diferentes áreas de estudo (A) e relação entre o número de espécies e a distância dos pontos de coleta (B). Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área. As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

Finalmente, a riqueza total de espécies de besouro diferiu entre as quatro áreas de estudo, o que pode ser observado pela completa sobreposição dos intervalos de confiança das curvas de rarefação/extrapolação (Figura 22).

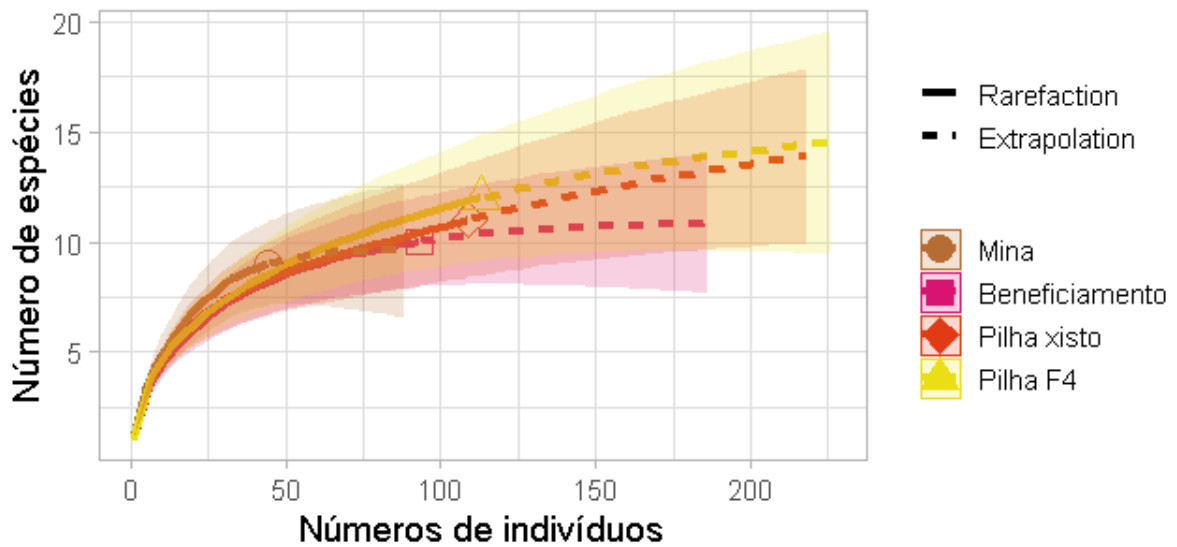


Figura 22: O gráfico mostra as curvas de rarefação e extrapolação para estimar o número de espécies em função do número de indivíduos amostrados, as linhas pontilhadas indicam a extrapolação, ou seja, uma estimativa de quantas espécies seriam esperadas caso o número de indivíduos coletados fosse maior. Já as linhas contínuas indicam a rarefação, ou seja, o número de espécies observadas a partir de um grupo de indivíduos. As áreas sombreadas são o intervalo de confiança, cada cor e símbolo está associada a um local de estudo, sendo círculo marrom = Mina, quadrado rosa = Beneficiamento, losango laranja = Pilha xisto e triângulo amarelo = Pilha F4.

Houve variação da composição de espécies entre as quatro áreas de estudo ($F= 2.07$, $R^2= 0.36118$, $p=0.02$) (Figura 23), sendo que as áreas Mina e Britagem apresentaram uma variação maior do que Pilha Xisto e F4. Essa diferenciação corresponde de maneira fraca com o número de espécies exclusivas de cada área, onde vemos um número um pouco menos de espécies únicas justamente nas áreas de mina e Beneficiamento quando comparado com as áreas de Xisto e F4 (Tabela 3).

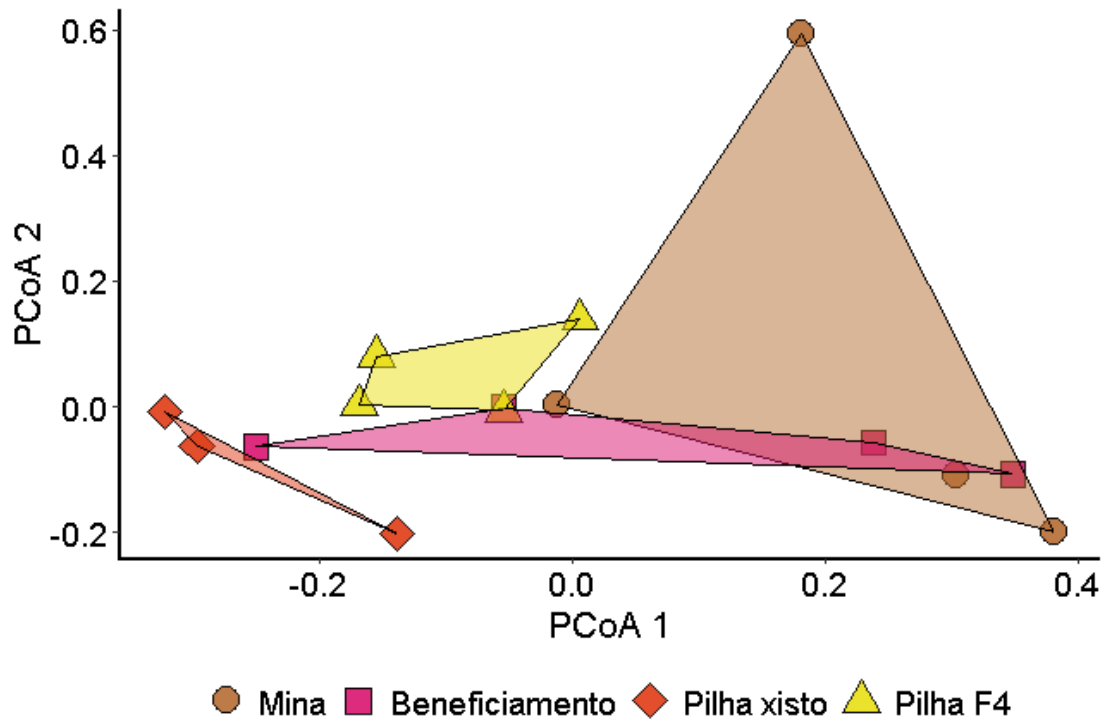


Figura 23: Representa a análise de Coordenadas Principais, onde os dois eixos do gráfico representam as maiores variâncias nas distâncias entre os grupos de amostras. Cada área é representada por uma cor e símbolo diferente, sendo círculo marrom = Mina, quadrado rosa = Beneficiamento, losango laranja = Pilha xisto e triângulo amarelo = Pilha F4. A variabilidade ou similaridade interna dentre as amostras de cada grupo é ilustrada através dos polígonos que conectam os pontos e são preenchidos com suas respectivas cores.

Tabela 3 - Número de espécies exclusivas de besouros rola bosta de cada área, compartilhadas em todas as áreas e o total de cada área amostrada destacadas em azul (Mina, Beneficiamento, Pilha Xisto e Pilha F4).

Espécies Compartilhadas					
	Mina	Beneficiamento	Pilha Xisto	Pilha F4	Espécies exclusivas
Mina	8	8	6	8	0
Beneficiamento	8	9	7	8	0
Pilha Xisto	6	7	10	7	2
Pilha F4	8	8	7	11	2

Diversidade de besouros - Planta química

Observamos que a abundância e riqueza média de besouros diferiram entre as áreas ($F_{(4,15)}= 39.29$, $p < 0,001$; $F_{(4,15)}= 6.85$, $p= 0.002^{**}$, respectivamente) (Figura 24A, B). A mata parque apresentou maior abundância e riqueza de besouros, enquanto as áreas com menos abundância e riqueza foram as pilhas 1 e 2 que não diferiram entre si.

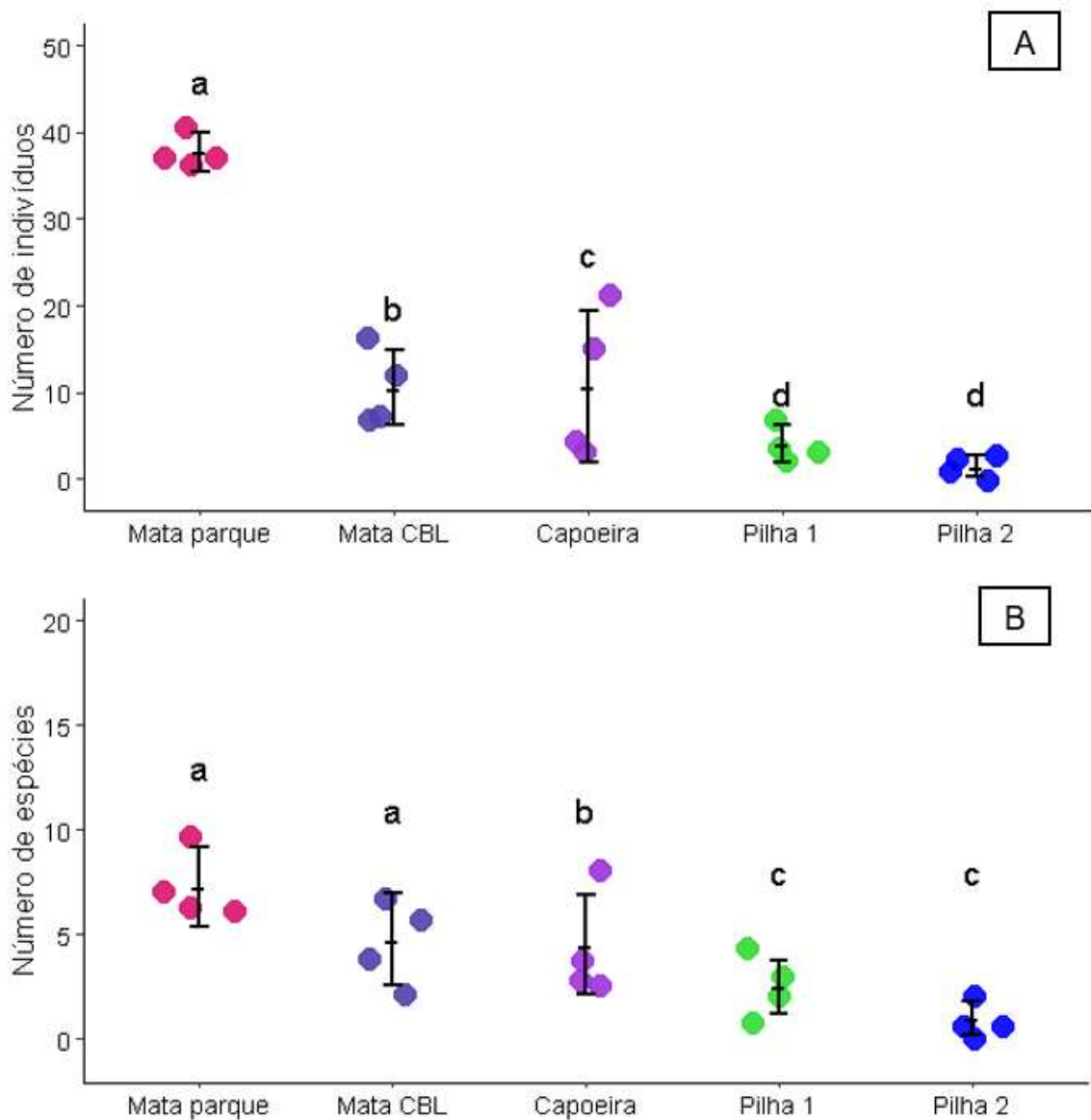


Figura 24: Número médio de besouros coletados por parcela (A) e número de espécies coletadas por parcela nas diferentes áreas de estudo (B). Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área. As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

Na planta química, a riqueza total de espécies de besouro diferiu entre as áreas (Figura 25). Segundo as curvas de rarefação, a pilha 2 apresentou uma menor riqueza em comparação a todas as outras áreas. Já a pilha 1 também apresentou um menor número de espécies do que as áreas de mata, porém não diferiu da capoeira. Finalmente às áreas de capoeira são mais ricas que a pilha 1 e não diferem da pilha 2 e das matas (Figura 25).

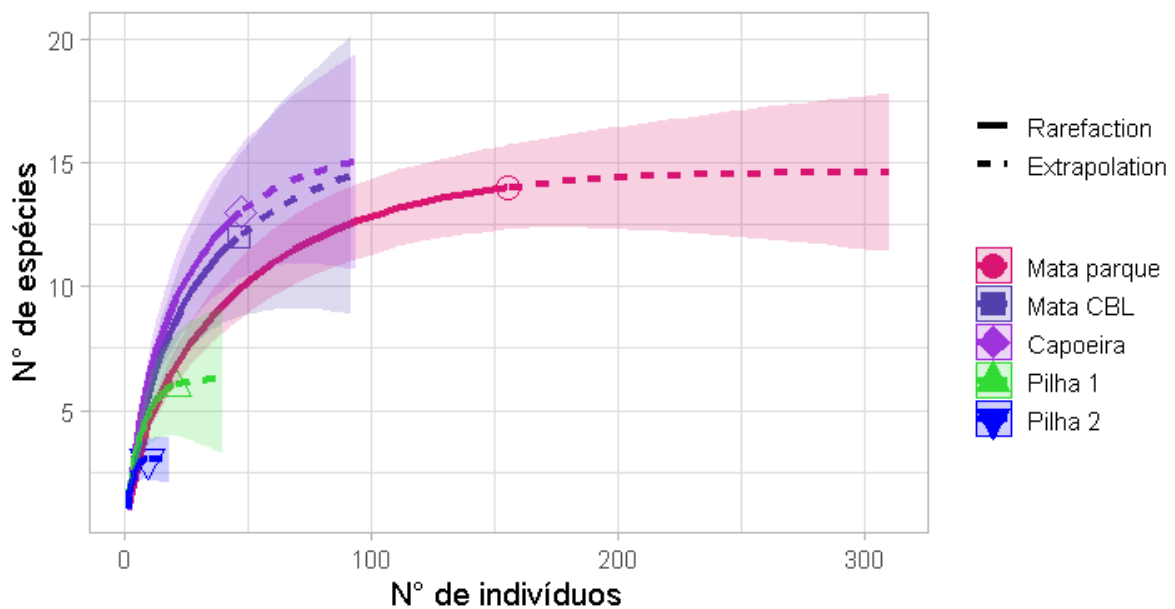


Figura 25: O gráfico mostra as curvas de rarefação e extrapolação para estimar o número de espécies em função do número de indivíduos amostrados, as linhas pontilhadas indicam a extrapolação, ou seja, uma estimativa de quantas espécies seriam esperadas caso o número de indivíduos coletados fosse maior. Já as linhas contínuas indicam a rarefação, ou seja, o número de espécies observadas a partir de um grupo de indivíduos. As áreas sombreadas são o intervalo de confiança, cada cor e símbolo está associada a um local de estudo, sendo círculo rosa = Mata Parque, quadrado roxo = Mata CBL, losango lilás = Capoeira, triângulo verde = Pilha 1 e triângulo invertido azul = Pilha 2.

Em relação à composição de espécies, houve diferença significativa entre as áreas ($F=3.88$, $R^2=0.50864$ $p=0.001$) (Figura 26), sendo que as Pilhas 1 e 2 apresentaram maior variação, enquanto as Matas parque e CBL são mais semelhantes entre si. Essa diferença fica evidenciada ao observarmos o número de espécies exclusivas em cada área, onde as pilha 1 e 2 apresentam menos da metade do número de espécies únicas quando comparado com as demais áreas (Tabela 4).

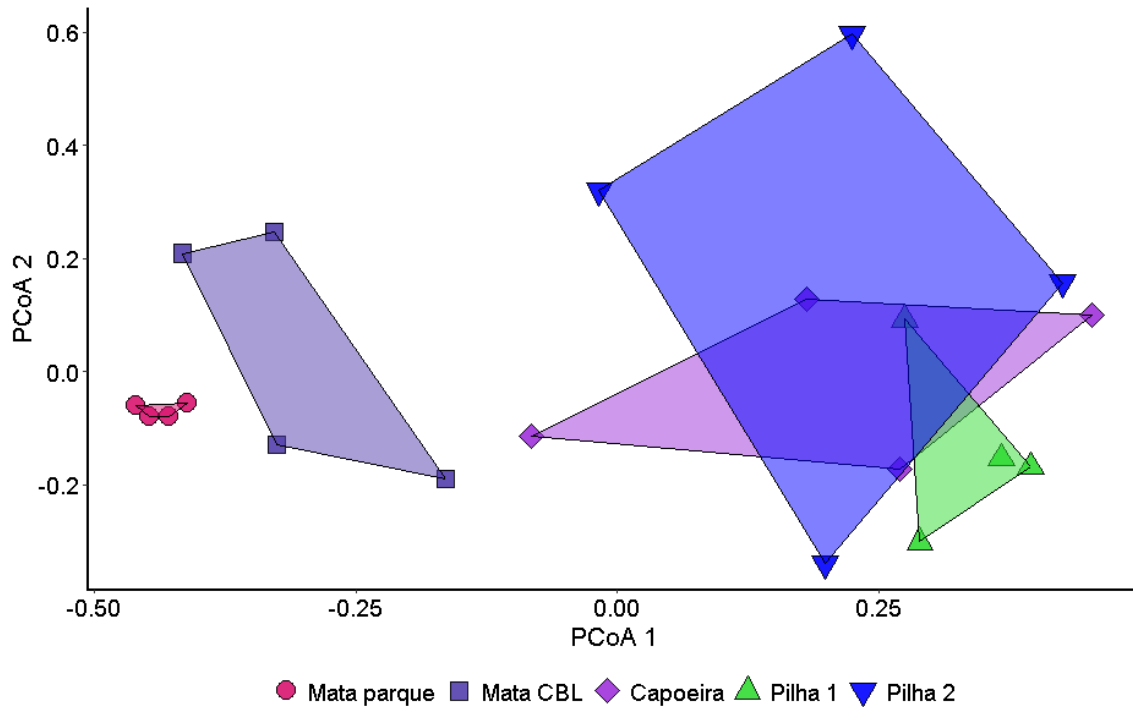


Figura 26: Representa a análise de Coordenadas Principais, onde os dois eixos do gráfico representam as maiores variâncias nas distâncias entre os grupos de amostras. Cada área é representada por uma cor e símbolo diferente, sendo círculo rosa = Mata Parque, quadrado roxo = Mata CBL, losango lilás = Capoeira, triângulo verde = Pilha 1 e triângulo invertido azul = Pilha 2. A variabilidade ou similaridade interna dentro das amostras de cada grupo é ilustrada através dos polígonos que conectam os pontos e são preenchidos com suas respectivas cores.

Tabela 4 - Número de espécies exclusivas de besouros rola bosta de cada área, compartilhadas em todas as áreas e o total de cada área amostrada destacadas em azul (Mata Parque, Mata CBL, Capoeira, Pilha 1 e Pilha 2).

Espécies Compartilhadas						
	Mata Parque	Mata CBL	Capoeira	Pilha 1	Pilha 2	Espécies exclusivas
Mata Parque	13	7	5	2	1	4
Mata CBL	7	11	4	2	1	3
Capoeira	5	4	12	5	2	4
Pilha 1	2	2	5	5	2	0
Pilha 2	1	1	2	2	2	0

Funções ecossistêmicas – Planta de mineração

O peso de fezes removidas não diferiu entre as áreas de coleta ($F_{(3,12)} = 1.44$, $p = 0.27$) e nem entre as distâncias ($F_{(3,12)} = 0.98$, $p = 0.43$) (Figura 27A, B). Quanto ao

experimento de dispersão de sementes, não houve diferença entre as distâncias ($F_{(3,12)} = 0.34$, $p=0.79$), mas houve diferença significativa na quantidade de miçangas dispersas entre as áreas ($F_{(3,12)} = 12.33$, $p=0.001$), sendo as áreas de Pilha Xisto e Pilha F4 as que apresentaram maior dispersão (Figura 28A, B). Já o peso do solo revolvido não mostrou diferença significativa entre as áreas ($F_{(3,12)} = 3.18$, $p=0.06$) e nem entre as distâncias ($F_{(3,12)} = 0.41$, $p=0.74$) (Figura 29A, B).

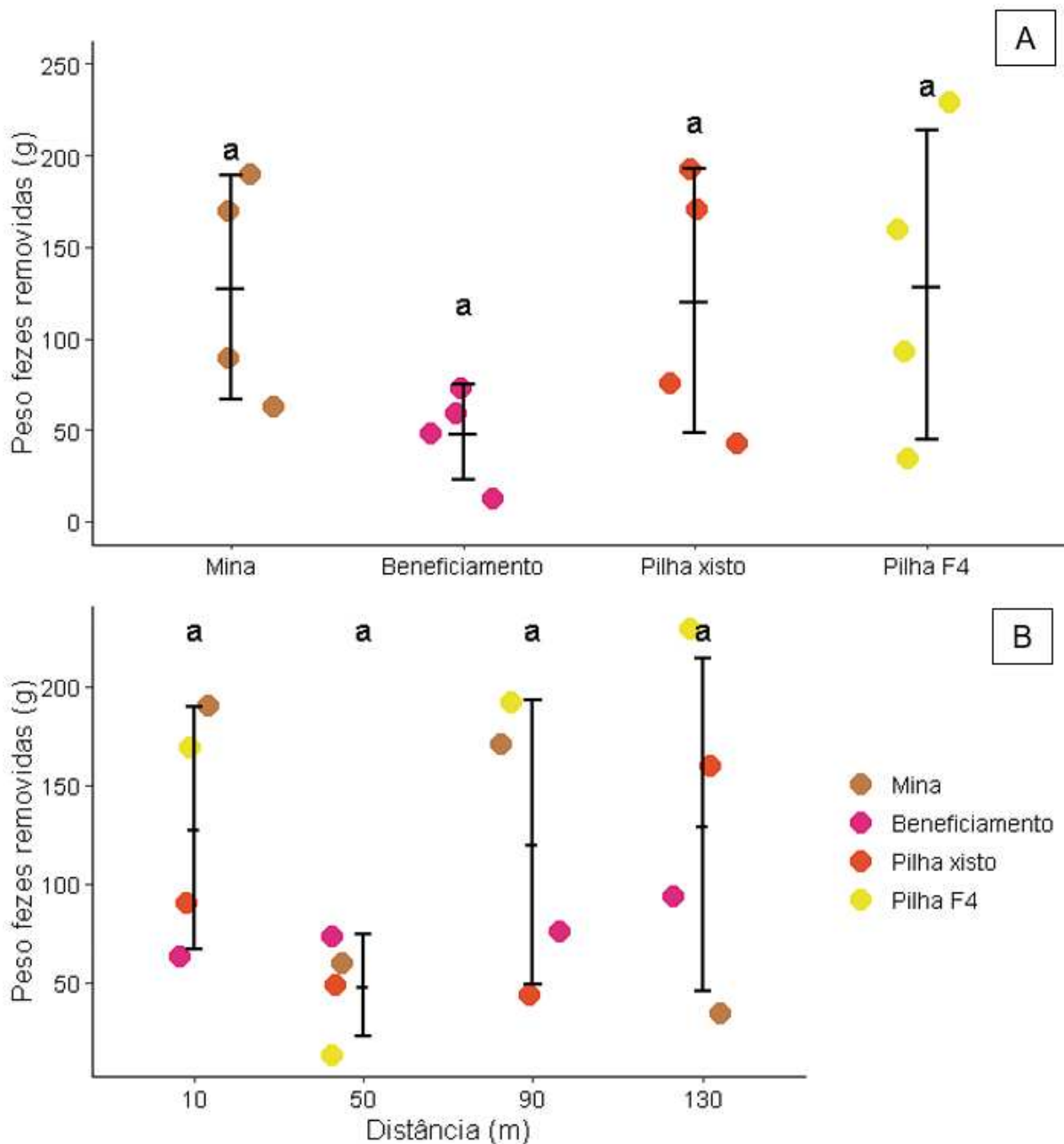


Figura 27: Relação entre o peso médio de fezes removidas por parcela e as diferentes áreas de estudo (A) e relação entre o peso médio de fezes removidas e a distância dos pontos de coleta (B). Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área.

As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

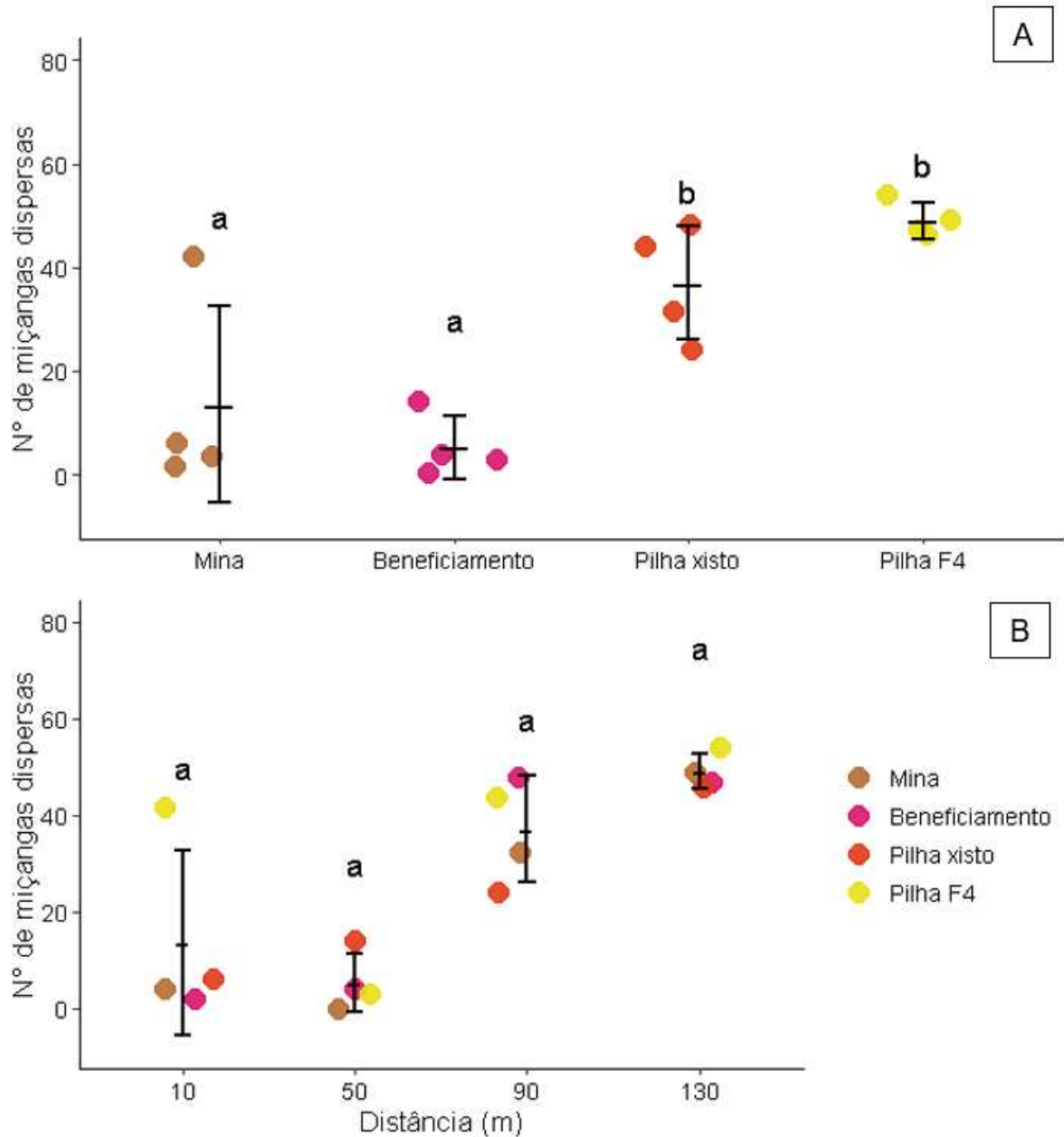


Figura 28: Relação entre o número de miçangas dispersadas por parcela e as diferentes áreas de estudo (A) e relação entre o número de miçangas dispersadas e a distância dos pontos de coleta (B). Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área. As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

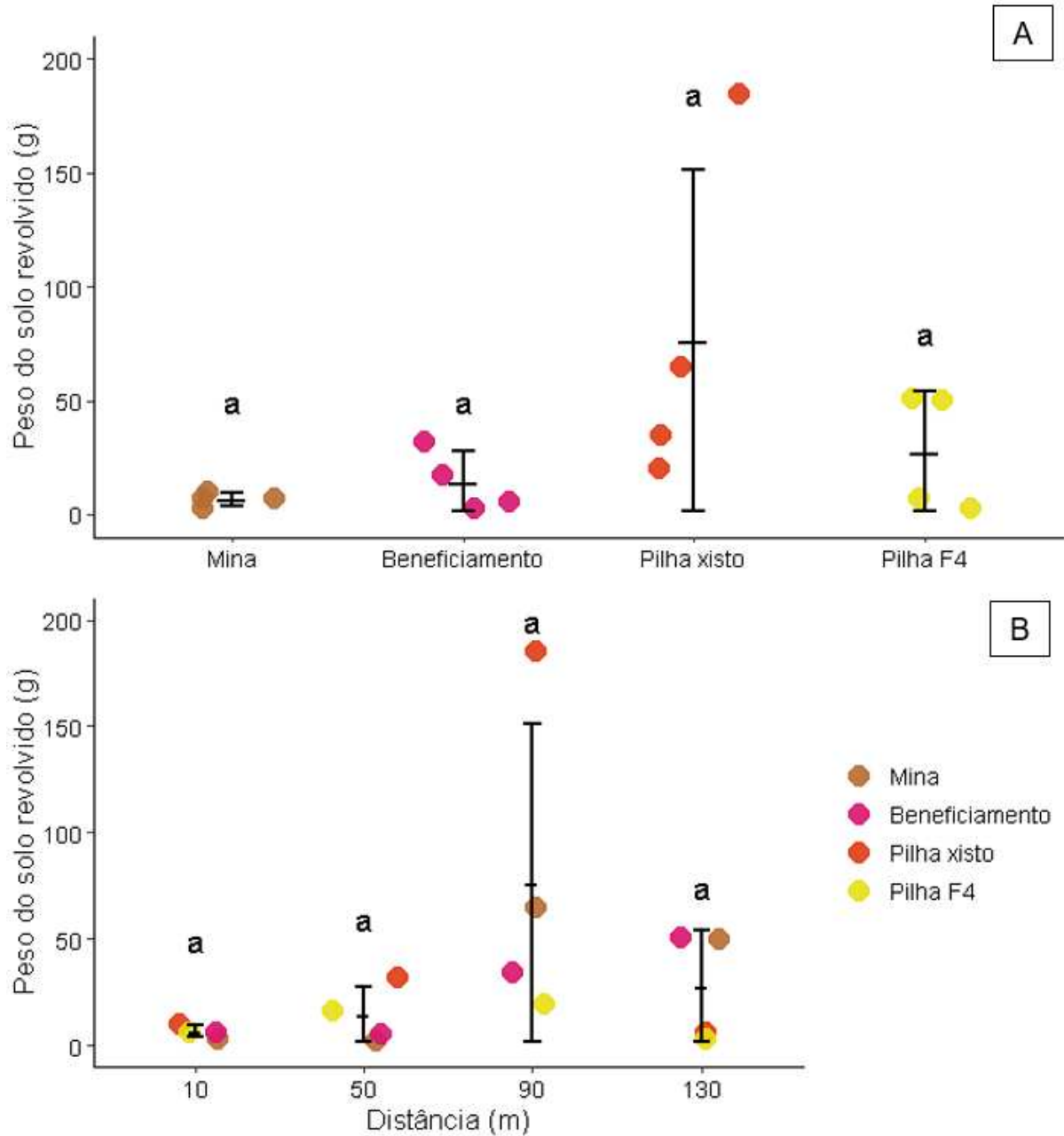


Figura 29: Relação entre o peso médio do solo revolvido por parcela e as diferentes áreas de estudo (A) e relação entre o peso médio do solo revolvido e a distância dos pontos de coleta (B). Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área. As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

Funções ecossistêmicas - Planta química

Houve diferença no peso de fezes removidas por besouros entre as áreas ($F_{(4,15)}=4.61$, $p=0.012$), sendo a Pilha 2 a área que apresentou maior remoção de fezes, enquanto a Mata CBL e Mata parque tiveram menores pesos de fezes removidas pelos besouros (Figura 30). Em relação a quantidade de miçangas removidas, houve

diferença entre as áreas ($F_{(4,15)} = 35.82$, $p < 0.001$), onde a pilha 2 novamente teve maior atividade dos besouros, tendo o maior número de miçangas dispersas (Figura 31). Finalmente, o peso do solo revolvido durante os experimentos não diferiu entre as áreas ($F_{(4,15)} = 0.21$, $p = 0.92$) (Figura 32).

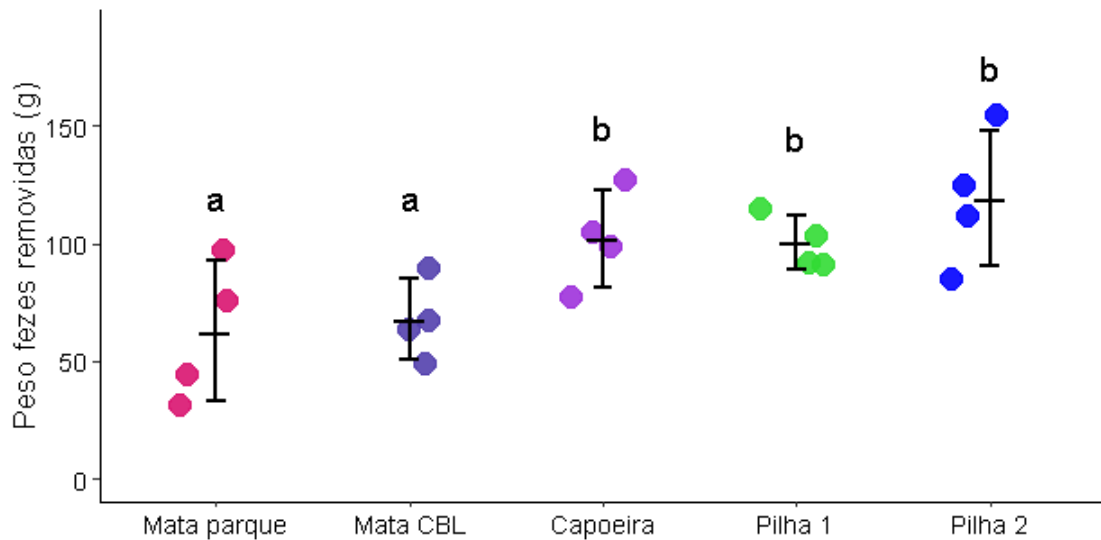


Figura 30: Relação entre o peso médio de fezes removidas por parcela e as diferentes áreas de estudo. Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área. As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

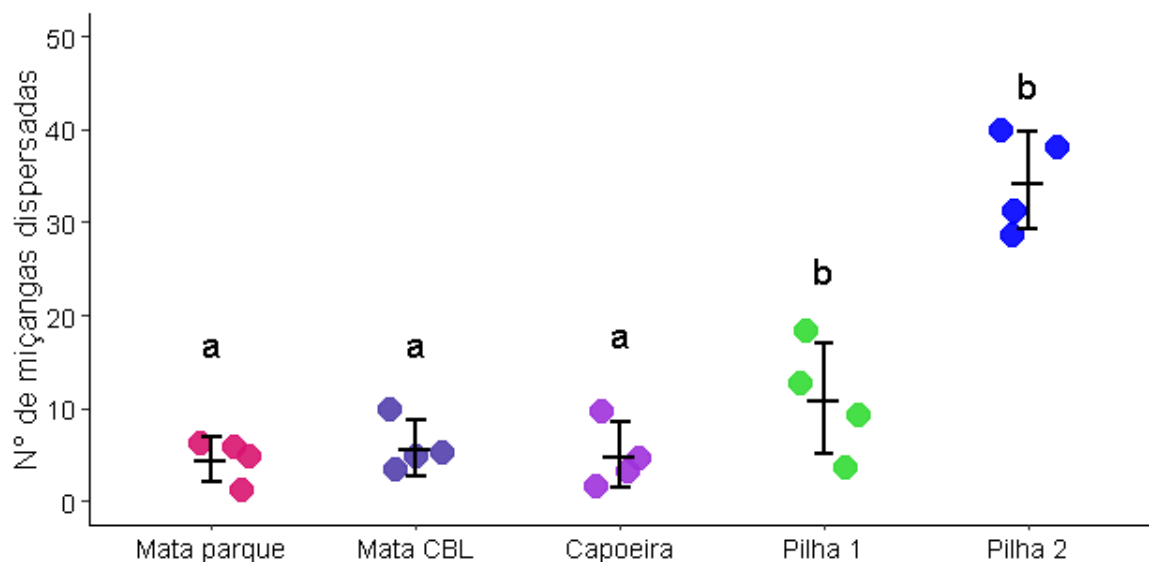


Figura 31: Relação entre o número de miçangas dispersadas por parcela e as diferentes áreas de estudo. Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área. As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

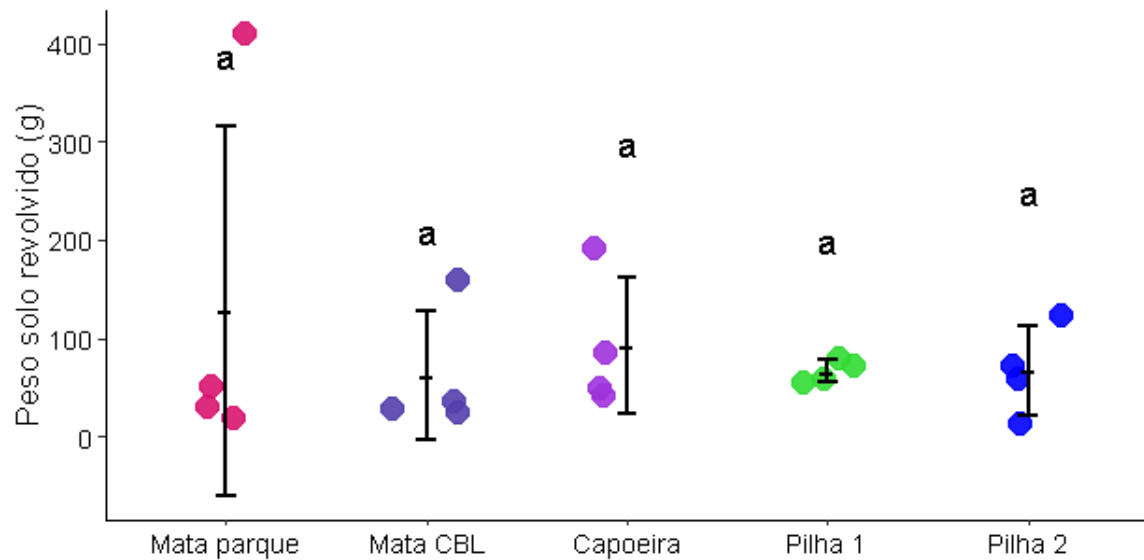


Figura 32: Relação entre o peso médio do solo revolvido por parcela e as diferentes áreas de estudo. Os dados são representados por pontos coloridos para cada local, as linhas horizontais representam as medianas e as barras de erro verticais indicam o desvio padrão, mostrando a variação dos dados em cada área. As letras correspondem à análise de contraste entre as áreas, indicando que entre as áreas representadas pelas mesmas letras não houve diferença estatística significativa.

5. Discussão

Os resultados deste estudo revelam que a mudança do uso do solo causada pelas duas principais etapas da obtenção dos compostos de Lítio comercial (mineração e beneficiamento) causa efeitos variados sobre a diversidade e funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros rola-bosta. Em sua fase de mineração observamos que a distância e o tipo de distúrbio não afetam a abundância e a riqueza de besouros. Por outro lado, na fase de beneficiamento químico, encontramos que existe uma redução da diversidade local e regional de besouros em áreas com maior modificação do uso do solo, como pilhas de rejeito revegetadas quando comparadas com áreas florestais próximas. No mesmo sentido, as mudanças do uso do solo causadas pela etapa mineração causaram efeitos mais fracos quando comparadas a etapa de beneficiamento químico sobre as funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros. Na planta de mineração encontramos apenas uma pequena redução da dispersão de sementes por besouros em áreas com maior atividade humana (mina e área de beneficiamento). Já na planta química observamos contrastantes, já que a dispersão de sementes e remoção de fezes foi maior nas duas pilhas de rejeito, apesar dessas áreas apresentarem menor riqueza e abundância de besouros quando

comparada à florestas. Os possíveis promotores desses resultados contrastantes e suas implicações para conservação serão discutidas nos próximos parágrafos.

Diversidade de besouros – Planta de mineração

De acordo com nossos resultados de diversidade taxonômica, observamos que na planta de mineração, a distância e o tipo de distúrbio não pareceram afetar a abundância e a riqueza de besouros. Em primeiro lugar a riqueza de besouros rola-bosta encontrada na planta de mineração de Lítio (14 espécies) pode ser considerada baixa em comparação outros estudos realizados em áreas degradadas tanto em Mata Atlântica (Lopes *et al.*, 2011), quanto no cerrado (Martello *et al.*, 2016), quanto na caatinga (Hernández, 2007). A única métrica que demonstrou uma pequena variação foi o número de indivíduos das três espécies mais abundantes: *Canthon rutilans*, *C. histrio* e *Onthophagus sp.* que ocorreram em menor abundância na área da mina. Aparentemente, devido a um longo histórico de degradação dessa área, anos de pecuária seguido de 33 anos de mineração, as métricas numéricas de abundância e riqueza se mostraram muito similares na escala do nosso estudo, indicando uma fauna super simplificada e independente do tipo e degradação desempenhada pela mina. Muito provavelmente, essa baixa riqueza de espécies também pode ter sido influenciada pelo isolamento dessas áreas, refletido pela grande distância de áreas primárias ou com alto grau de conservação. É importante destacar que a área de preservação mais próxima fica a 8 Km de distância da planta de mineração da CBL.

Em relação a composição de espécies na planta de mineração, apesar da diferença significativa apontada pelo PCoA, das 14 espécies encontradas, apenas quatro foram exclusivas de duas das quatro áreas. Assim, foi observado que as espécies *Canthon (Glaphyrocanton) simulans* e *Ontherus zikani* foram encontradas exclusivamente na área denominada Pilha Xisto, enquanto as espécies *Dichotomius (D.) semiaeneus* e *Canthon (Canthon) chalybaeus* foram encontradas somente na Pilha F4. *Dichotomius (D.) semiaeneus* pode ser encontrada em áreas de pastagem e em áreas de Cerrado preservado. Já *Canthon (Canthon) chalybaeus* é uma espécie necrófaga encontrada em áreas abertas e secas e tem uma ampla distribuição geográfica (Tissiani *et al.*, 2017; Vaz-de-Mello *et al.*, 2014; Vaz-de-Mello *et al.*, 2016). Em um estudo realizado no Paraná observou-se que *C. chalybaeus* foi encontrada com mais facilidade em pastagens e em bordas de florestas (Costa *et al.*, 2013; Lopes

et al., 2011). Porém é importante ressaltar que apesar dessas quatro espécies terem sido encontrados exclusivamente nessas duas áreas, apenas um exemplar de cada um foi capturado nas armadilhas. Por outro lado, as três espécies mais abundantes: *Canthon rutilans*, *C. histrio* e *Onthophagus sp*, ocorreram nas 4 localidades. Essas, são espécies generalistas e com ampla distribuição geográfica. Ademais, duas dessas três espécies encontradas com maior abundância, tem em comum o tamanho corporal pequeno. Isso pode ser um indicativo indireto de um baixo status de conservação dessas áreas de mineração da CBL. Já foi demonstrado que besouros rola-bosta de tamanho corporal menor são mais resistentes à impactos ambientais como por exemplo desmatamento (Vulinec, 2002; Scheffler, 2005; Lee *et al.*, 2009; Andrade *et al.*, 2014). Finalmente, o pool regional de espécies de besouros-rola bosta nas áreas de mineração de CBL é pobre e demonstrou uma pequena variação entre as áreas amostradas.

Diversidade de besouros – Planta química

Nossos resultados de diversidade taxonômica de besouros na planta química do processo de mineração de lítio, demonstraram que a abundância e riqueza tanto local quanto regional de besouros foram menores nas pilhas de rejeito quando comparadas aos ambientes de capoeira e às florestas. Como já detalhado na metodologia, o aspecto geral das pilhas atualmente se assemelha muito a uma pastagem artificial elevada (Figura 11), onde domina a espécie *Brachiaria decumbens*. Assim, a menor riqueza e abundância de besouros escarabeíneos nas pilhas de rejeito pode estar refletindo a diferença natural esperada entre ambientes de floresta e pastagem antrópica (Halffter & Arellano, 2002; Audino *et al.*, 2014; Bourg *et al.*, 2016). Em um estudo realizado mata atlântica do sul da Bahia (a aproximadamente 300 Km de Divisa Alegre) foi demonstrado que áreas de pastagens em diferentes estágios de regeneração apresentam uma menor diversidade de besouros rola bosta em comparação às áreas de florestas originais, podendo ser explicado pela fidelidade desses insetos as propriedades do ambiente como cobertura de dossel, vegetação, tipo de solo e umidade (Audino *et al.*, 2014). Finalmente, em termos da riqueza local de besouros (por parcela), o ambiente de capoeira parece se comportar como intermediário entre os locais de pilha e floresta. Já acerca da riqueza regional

(acumulada) a capoeira demonstrou ser tão rica quanto às áreas de mata. Isso pode ter ocorrido devido à presença de espécies favorecidas por esse ambiente aberto, como *Onthophagus sp.* que é um gênero com ampla distribuição geográfica e que ocupa diversos habitats, sendo besouros coprófagos bem adaptáveis a diferentes ambientes (França *et al.*, 2016; Tissiani *et al.*, 2017).

Também encontramos diferenças importantes na composição de espécies nas áreas da planta química. Observamos que sete espécies foram exclusivas das áreas de mata e quatro foram exclusivas da área de capoeira (Tabela 4). Em relação as espécies da mata, destaca-se *Eurysternus navajasi* e *Dichotomius (Cephagonus) reichei* que são especialistas em ambientes sombreados (Nunes & Vaz-de-Mello, 2019). Já dentre as quatro espécies da capoeira (Tabela 1), estudos já mostraram que essas espécies são amplamente encontradas em áreas de pastagem, sendo *D. bos* e *T. externepunctatum* consideradas de alta importância para esses ambientes e *C. histrio* e *G. bidens* de baixa importância (Correa *et al.*, 2020). É importante destacar também que não foram encontradas espécies exclusivas das áreas de pilhas revegetadas e além disso das cinco espécies capturadas todas são de tamanho corporal pequeno, o que já mencionada acima é uma característica associada a uma maior resistência a ambientes perturbados. Em resultados encontrados em florestas tropicais no México, foi observado que a mudança de uma área de mata preservada para uma área de pastagem, mesmo após revegetação, pode apresentar perda de espécies especialistas de besouros, que são mais sensíveis à degradação de florestas (Bourg *et al.*, 2016). Além disso foi observado que em áreas de pastagem, as espécies de besouros que são mais adaptadas a ambientes homogêneos, com maior exposição solar e altas temperaturas são beneficiadas na colonização dos mesmos, pois apresentam uma maior capacidade de forrageamento, tendo assim vantagem competitiva sobre outras espécies (Louzada & Carvalho e Silva 2009; Correa *et al.*, 2020).

Funções ecossistêmicas – Planta de mineração

Apesar de uma diferença de baixa magnitude, a dispersão de sementes por besouros foi maior nas áreas Pilha Xisto e Pilha F4. Esse resultado pode ter sido influenciado por dois fatores ligados a fauna dessas áreas. Primeiramente, as espécies *Onthophagus sp.* e *Canthon rutilans* ocorreram em maior abundância nessas

duas localidades, enquanto as áreas de mina e beneficiamento não apresentaram espécies que ocorreram em alta abundância apenas em suas áreas. Em segundo lugar, apesar de termos capturado apenas um indivíduo de cada espécie nos *pitfalls*, encontramos 4 espécies que foram exclusivas dessas duas áreas (tabela 3). Ao imaginarmos uma diferença na intensidade do distúrbio entre nossas quatro áreas na mineração de lítio, poderíamos dizer que a movimentação de caminhões e pessoas seria menor nas áreas de pilha de xisto e F4 quando comparado às áreas da mina e beneficiamento. Assim, apesar de meramente especulativo, essa pequena diferença na abundância de algumas espécies (ex. *Onthophagus sp.* e *Canthon rutilans*) e na dispersão de sementes poderia ser influenciada por isso. Ademais, *Onthophagus sp.* que foi encontrado em maior abundância da área de pilha F4, pertence à guilda funcional dos besouros escavadores, ou seja, tem o hábito enterrar as fezes no local onde as encontram (Vulinec, 2002). Essa seria exatamente a guilda considerada mais eficiente na dispersão de sementes por besouros (Slade *et al.*, 2007).

Já a remoção de fezes e bioturbação não apresentaram diferença significativa entre as áreas estudadas na planta de mineração. Esse resultado pode ser atribuído a alta similaridade na estrutura da comunidade de besouros e a degradação ambiental de todas as áreas. Rodrigues (2013) demonstrou-se que *pitfalls* com fezes desempenham um forte papel de atração para besouros em áreas em que não há disponibilidade de recursos, sendo as fezes de porco uma das que mais permanecem atrativas após um longo período de exposição (Davis, 2013). Como é o caso das quatro áreas do nosso estudo, que aparentemente não apresentam grande atividade de animais e por consequência baixa disponibilidade de fezes, o que pode ter influenciado na similaridade da remoção de fezes e bioturbação pelos besouros.

Funções ecossistêmicas – Planta química

Apesar da menor riqueza e abundância de besouros, a dispersão de sementes na planta química foi maior nas duas áreas de pilha. Primeiramente, esse resultado contraditório poderia ser explicado pela capacidade de forrageamento dos besouros rola-bosta. A distância entre as áreas de pilha de rejeito e as áreas de mata variaram entre 200 e 500 m, que seria uma distância relativamente curta, permitindo que os besouros da mata coletassem fezes nas pilhas sem serem capturadas nos *pitfalls*. Somado a isso, dado que as pilhas são ambientes abertos, a disponibilização de 400

gramas de fezes poderia sim gerar uma atração dos besouros provenientes das áreas de floresta (Figura 7). Além disso, espécies adaptadas a áreas abertas como áreas de pastagem, possuem uma alta capacidade de forrageamento, tendo vantagem competitiva sobre outras espécies, podendo consumir rapidamente o recurso disponível (Correa *et al.*, 2020; Louzada e Carvalho, 2009). Em ambas as pilhas foram capturados dez indivíduos de *Onthophagus sp.* Essa espécie de besouro rola-bosta é uma espécie de tamanho corporal grande pertencente a guilda dos escavadores, que é bastante eficiente na dispersão secundária de sementes (Slade *et al.*, 2007; França *et al.*, 2016; Tissiani *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2014). Assim, apesar de terem sido capturados em maior abundância nas áreas de mata e na capoeira, os indivíduos de *Onthophagus sp.* das pilhas podem ter realizado o serviço de remoção de sementes de forma mais eficiente. Como já dito anteriormente, isso faz sentido dado que as pilhas são ambientes menos complexos e com menor disponibilidade de recursos para besouros.

A atividade de remoção de fezes pelos besouros na planta química apresentou resultados muito similares ao de dispersão de sementes, excetuando o fato de que a área de capoeira apresentou maior remoção de fezes juntamente com as áreas de pilha quando comparado as matas. Como já discutido no parágrafo anterior, a maior remoção de fezes nas áreas de pilha poderia ser explicada pelos mesmos fatores que influenciaram a maior remoção de sementes (principalmente pela atração de besouros das florestas). Por outro lado, a área de pilha apresentou, ao mesmo tempo, uma menor dispersão de sementes e uma maior remoção de fezes (Figuras 30 e 31). Isso poderia ser explicado pela presença de espécies exclusivas da guilda dos besouros “residentes” (Silva *et al.*, 2015). Por exemplo, as espécies *T. externepunctatum* e *G. bidens* foram capturadas apenas nos pitfalls da capoeira. Essas espécies tem o comportamento de nidificar no interior do bolo fecal (Correa *et al.*, 2013). Assim, esses besouros teriam a capacidade de consumir as fezes sem remover as sementes. Isso faria com que o peso das fezes diminuísse sem reduzir o número de miçangas e isso explicaria o resultado contraditório entre remoção de sementes e fezes na área de capoeira.

Já a atividade de bioturbação não apresentou diferença significativa entre as áreas na planta química. Estudos mostram que dependendo do grau de compactação do solo, os besouros rola-bosta não conseguem desempenhar suas funções com

eficiência (Badenhorst *et al.*, 2018). Isso ocorre, pois a taxa de umidade do solo e a textura do mesmo são fatores importantes para o deslocamento das fezes e construção de ninhos subterrâneos (Filgueiras *et al.*, 2015). Além disso, Silva (2015) observou que o aumento da concentração de argila no solo afeta diretamente a atividade dos besouros, principalmente dos escavadores, pois os solos mais argilosos tendem a ser mais compactados. Assim, a diferença nas características físicas do solo entre as áreas de mata, capoeira e pilha podem ter influenciado o peso de solo revolvido pelos besouros e mascarado a diferença dessa função entre os locais estudados.

Implicações para conservação

Um dos nossos principais resultados demonstra que existe um efeito contrastante das modificações do uso do solo geradas pela etapa química de mineração do lítio sobre a diversidade e funções ecossistêmicas desempenhadas por besouros rola-bosta. Nós demonstramos que houve uma forte redução da abundância e na riqueza de besouros nas pilhas de rejeito de lítio quando comparado a áreas florestais próximas (cerca de três vezes menos indivíduos e espécies nas pilhas). Por outro lado, nessas mesmas áreas de pilha os besouros desempenharam de forma mais intensa as funções de remoção de fezes e dispersão de sementes do que nas áreas de mata (de 50 a 150% a mais respectivamente). Esses resultados contrastantes podem ser explicados pela proximidade das áreas de referência (florestas) e pela relativamente pequena área das plantas de mineração do lítio.

Assim, do ponto de vista de conservação, se por um lado as áreas mais afetadas pelo beneficiamento do Lítio (ex. pilhas de rejeito) sofrem uma redução da riqueza e abundância de besouros, as espécies remanescentes e o possível fluxo de indivíduos de área adjacentes mais preservadas suprem as principais funções ecossistêmicas dos mesmos. Isso só é possível dado as áreas tanto de mineração quanto de beneficiamento do Lítio na CBL podem ser consideradas pequenas, quando comparadas com grandes minerações de ferro. Por exemplo, a planta química da CBL em Divisa Alegre possui uma área total de 0,47 km², enquanto o Quadrilátero Ferrífero situado em Minas Gerais, ocupa uma área de 7000 km² aproximadamente (Azevedo *et al.*, 2012).

Por outro lado, encontramos aqui que as espécies predominantes nas áreas relativamente mais impactadas pela extração e beneficiamento do lítio (pilha de xisto e F4 na planta de mineração e pilha de silicato na planta química) geralmente são mais adaptadas a áreas abertas e de menor tamanho corporal. Já foi demonstrado que besouros de tamanho corporal pequeno são menos eficientes em algumas funções desempenhadas por besouros (Vulinec, 2002; Scheffler *et al*, 2005), o que pode se tornar um problema a longo prazo para áreas em regeneração, como as áreas de pilha de rejeito analisadas nesse estudo (Vulinec, 2002). É importante ressaltar que nossos resultados apontam que as funções de dispersão de sementes e remoção de fezes por besouros estão acontecendo de forma mais eficiente ou similar ao comparamos as áreas mais ou menos impactadas pela mineração de Lítio. No entanto, como a diversidade de besouros se mostrou muito menor nas áreas impactadas (exclusivamente na planta química), é impossível prever se essas funções serão mantidas a longo prazo. Finalmente, como dito anteriormente, besouros especialistas em ambientes florestais, por meio de sua capacidade de forrageamento, poderiam estar executando essas funções nos ambientes impactados mais sem a capacidade de residirem nesses locais (Filgueiras *et al.*, 2015).

Assim, concluímos que existe sim um efeito negativo importante da mudança do uso do solo (formação de pilhas de rejeito vegetadas) sobre a diversidade de besouros rola-bosta na planta química da CBL. Por outro lado, nossos resultados apontam que essa mesma mudança do uso do solo causa uma aceleração dos serviços ecossistêmicos de remoção de fezes e dispersão de sementes por esses mesmos besouros. Provavelmente, a matriz florestal e a pequena escala espacial da CBL pode ter causado esse efeito positivo nas funções ecossistêmicas, apesar da perda de biodiversidade. Finalmente, incentivamos que outros estudos foquem em uma comparação entre os diferentes tipos de mineração (ex. ferro, bauxita, calcário) e o lítio sobre a biodiversidade e as funções ecossistêmicas para podermos definir se a obtenção desse tipo de metal alcalino é de fato menos danoso ao meio ambiente.

6. Referências

- Agusdinata, D. B.; Liu, W.; Eakin, H.; Romero, H. (2018) Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 12, p. 123001. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aae9b1>.
- AMG. Lithium project overview. 2020. Disponível em: <https://amglithium.com/>. Acesso em: 5 nov. 2024.
- Andrade, R. B. De; Barlow, J.; Louzada, J.; Vaz-De-Mello, F. Z.; Silveira, J. M.; Cochrane, M. A. (2014) Tropical Forest fires and biodiversity: dung beetle community and biomass responses in a northern brazilian amazon forest. *Journal Of Insect Conservation*, v. 18, n. 6, p. 1097-1104. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10841-014-9719-4>.
- Andresen, E., Levey, D.J. (2004) Effects of dung and seed size on secondary dispersal, seed predation, and seedling establishment of rain forest trees. *Oecologia* **139**, 45–54. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1480-4>
- Audino, L. D.; Louzada, J.; Comita, L. (2014) Dung beetles as indicators of tropical forest restoration success: is it possible to recover species and functional diversity? *Biological Conservation*, v. 169, p. 248–257. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2013.11.023>.
- Azevedo, Ú. R. De, Machado, M. M. M., Castro, P. De T. A., Renger, F. E., Trevisol, A. And Beato, D. A. C. (2012) Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG). In C. R. Da Silva (ed), *Geoparques do Brasil*. CPRM, Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 748.
- Badenhorst, J.; Dabrowski, J.; Scholtz, C. H.; Truter, W. F. (2018) Dung beetle activity improves herbaceous plant growth and soil properties on confinements simulating reclaimed mined land in South Africa. *Applied Soil Ecology*, v. 132, p. 53–59. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.011>
- Bertone, M. A. (2004) Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae and Geotrupidae) of North Carolina Cattle pastures and their implications for pasture improvement. Masters Thesis: North Carolina State University.
- Bourg, A.; Escobar, F.; Macgregor-Fors, I.; Moreno, C. (2016) Got dung? Resource selection by dung beetles in neotropical forest fragments and cattle pastures. *Neotropical Entomology*, v. 45, n. 5, p. 490–498. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13744-016-0397-7>.
- Braga, P. F. A.; França, S. C. A. (2013) Lítio: um mineral estratégico. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.
- Braga, P.F.A. & Sampaio, J.A. (2008) *Rochas e Minerais Industriais*. 2.ed. CETEM/MCTI.
- Braga RF, 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* **8**(2): e57786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057786>

- Calao-Ramos, C.; Bravo, A. G.; Paternina-Uribe, R.; Marrugo-Negrete, J.; Díez, Sergi. (2021) Occupational human exposure to mercury in artisanal small-scale gold mining communities of Colombia. *Environment International*, v. 146, p. 106216. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2020.106216>.
- Chao, A.; Gotelli, N. J.; Hsieh, T. C.; Sander, E. L.; Ma, K. H.; Colwell, R. K.; Ellison, A. M. (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, v. 84, n. 1, p. 45-67. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1890/13-0133.1>.
- Collins, L. M. (2020) Environmental resistance in the Anthropocene. *Oñati Socio-Legal Series*, v. 10, n. 6, p. 1317–1337. Disponível em: <https://opo.iisj.net/index.php/osls/article/view/1041>
- Correa, C. M. A.; Peres, N. D.; Holdbrook, R. (2020) Patterns of alimentary resource use by dung beetles in introduced Brazilian pastures: cattle versus sheep dung. *Entomological Science*, v. 23, n. 3, p. 271-279. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ens.12425>.
- Correa, C. M. A.; Puker, A.; Korasaki, V.; Oliveira, N. G. (2013) Dung beetles (Coleoptera, Scarabaeinae) attracted to sheep dung in exotic pastures. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 57, n. 1, p. 113-116. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0085-56262013000100017>.
- Correa, C. M. A.; Puker, A.; Abot, A. R. (2020) Impacts of Exotic Pasture Establishment on Dung Beetle Assemblages (Coleoptera: scarabaeidae). *Environmental Entomology*, v. 49, n. 6, p. 1335-1344. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/ee/nvaa132>.
- Costa, F. C.; Pessoa, K. K. T.; Liberal, C. N.; Filgueiras, B. K. C.; Salomão, R. P.; Iannuzzi, L. (2013) What is the importance of open habitat in a predominantly closed forest area to the dung beetle (Coleoptera, Scarabaeinae) assemblage? *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 57, n. 3, p. 329-334. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0085-56262013000300012>.
- Dabrowski, J.; Venter, G.; Truter, W. F.; Scholtz, C. H. (2019) Dung beetles can tunnel into highly compacted soils from reclaimed mined sites in eMalahleni, South Africa. *Applied Soil Ecology*, v. 134, p. 116–119. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.015>.
- Davis, A. L. V.; Swemmer, A. M.; Scholtz, C. H.; Deschodt, C. M.; Tshikae, B. P. (2013) Roles of environmental variables and land usage as drivers of dung beetle assemblage structure in mopane woodland. *Austral Ecology*, v. 39, n. 3, p. 313-327. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/aec.12081>.
- 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. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.032>.
- França, F. M.; Korasaki, V.; Louzada, J.; Vaz-De-Mello, F. Z. (2016) First report on dung beetles in intra-Amazonian savannahs in Roraima, Brazil. *Biota Neotropica*, v. 16, n. 1. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2015-0034>.
- Galbiati, C; Bensi, C.; Conceição, C. H. C; Florcovski, J. L.; Calafiori, M. H. (1995) Estudo comparativo entre besouros do esterco *Dichotomius analypticus* (Mann., 1829)

e *Onthophagus gazella* (F.), sobre as pastagens, em condições brasileiras. *Ecossistema*. 20: 109–118.

Gibernau, M.; Macquart, D.; Przetak, G. (2004) Pollination in the Genus *Arum* – a review. *Aroideana*, v. 27, p. 148–166.

Gotelli, N.J. And Colwell, R.K. (2001) Quantifying Biodiversity: Procedures and Pitfalls in the Measurement and Comparison of Species Richness. *Ecology Letters*, 4, 379-391. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>

Governo Do Estado De Minas Gerais. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. SUPRAM JEQUITINHONHA - Diretoria Regional de Regularização Ambiental. Parecer nº 10/SEMAD/SUPRAM JEQUIT-DRRA/2021. Processo nº 1370.01.0057142/2021-27. Belo Horizonte: SEMAD, 2021. Disponível em: http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_aceso_externo=0. Acesso em: 09 nov. 2024.

Governo Do Estado De Minas Gerais. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. SUPRAM JEQUITINHONHA - Diretoria Regional de Regularização Ambiental. Parecer nº 2/SEMAD/SUPRAM JEQUIT-DRRA/2023. Processo nº 1370.01.0011039/2023-98. Revalidação de Licença de Operação para o empreendimento CBL – Companhia Brasileira de Lítio. Disponível em: http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_aceso_externo=0. Divisa Alegre, MG, 2023. 26 p. Acesso em: 14 nov. 2024.

Halffter, G.; Arellano, L. (2002) Response of Dung Beetle Diversity to Human-induced Changes in a Tropical Landscape. *Biotropica*, v. 34, n. 1, p. 144-154. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2002.tb00250.x>.

Hernández, M. I. M. (2007) BESOUROS ESCARABEÍNEOS (COLEOPTERA: scarabaeidae) da caatinga paraibana, brasil. *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 03, p. 356-364. *Oecologia Australis*. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2007.1103.06>.

Hernández, M.I.M., Barreto, P.S.C.S., Costa, V.H. *et al.* (2014) Response of a dung beetle assemblage along a reforestation gradient in *Restinga* forest. *J Insect Conserv* **18**, 539–546. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9645-5>.

Hu, H.; Xiong, L.; Shi, Zixun; Liu, Meitang; Kuai, Yuqing; Wu, Bojun; Wang, Ruoyu; Liu, Qian; Song, Xiaoyu; Liu, Shengqi. (2024) Study on lithium extraction from natural brine without additional energy consumption by photocatalytic technology. *Sustainable Materials And Technologies*, v. 41, p. 1-9. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01108>.

Kabir, M.; Habiba, U. E; Khan, W.; Shah, A.; Rahim, S., *et al.* (2023) Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review. *Journal of King Saud University - Science*, v. 35, n. 5, p. 102693. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102693>.

Kaunda, R. B. (2020) Potential environmental impacts of lithium mining. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, v. 38, n. 3, p. 237–244. <https://doi.org/10.1080/02646811.2020.1754596>

Lastro, E. (2006) Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae and Geotrupidae) in North Carolina Pasture Ecosystems. Masters Thesis: North Carolina State University.

- Lee, J. S. H.; Lee, I. Q. W.; Lim, S. Lee-Hong; Huijbregts, J.; Sodhi, N. S. (2009) Changes in dung beetle communities along a gradient of tropical forest disturbance in South-East Asia. *Journal Of Tropical Ecology*, v. 25, n. 6, p. 677-680. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0266467409990174>.
- Lewis, Simon L.; Maslin, Mark A. (2015) Defining the Anthropocene. *Nature*, v. 519, n. 7542, p. 171–180. <http://dx.doi.org/10.1038/nature14258>.
- Lopes, J.; Korasaki, V.; Catelli, Lizandra L.; Marçal, Viviane V. M; Nunes, Maria Paula 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 (Curitiba)*, v. 28, n. 1, p. 72-79. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1984-46702011000100011>.
- Lopes, M. De M. (2019) Lítio - Características, Ocorrência, Produção e Uso. 1990. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro federal de educação tecnológica de Minas Gerais, Araxá.
- Louzada, J. N. C., And Carvalho E Silva, P. R. (2009) Utilisation of introduced Brazilian pastures ecosystems by native dung beetles: diversity patterns and resource use. *Insect Conserv. Divers.* 2: 45–52. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2008.00038.x>
- Martello, F.; Andriolli, F.; Souza, T. B.; Dodonov, P.; Ribeiro, M. C. (2016) Edge and land use effects on dung beetles (Coleoptera: scarabaeidae. *Journal Of Insect Conservation*, v. 20, n. 6, p. 957-970. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10841-016-9928-0>.
- Meeuse, B. J. D.; Hatch, M. H. (1960) Beetle pollination in *Dracunculus* and *Sauromatum* (Araceae). *Coleopterist's Bulletin*, v. 14, p. 70–74.
- Navarro, G. R. B.; Zanardo, A.; Montibeller, C. C.; Leme, T. G. (2017) *Livro de referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes: Inossilicatos*. Museu de Minerais, Minérios e Rochas “Prof. Dr. Heinz Ebert”.
- Nichols, E.; Larsen, T.; Spector, S.; Davis, A.L.; Escobar, F.; Favila, M; Vulinec, K. (2007) Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. *Biological Conservation*, v. 137, p. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.01.023>.
- Nichols, E.; Spector, S.; Louzada, J.; Larsen, T.; Amezquita, S.; Favila, M.E. *et al.* (2008) Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, v. 141, n. 6, p. 1461–1474. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>.
- Nimer, E.; Brandão, A. M. P. M. (1999) Balanço hídrico e clima da região de Cerrado. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Hídricos Naturais e Estudos Ambientais.
- Nunes, R. V., & Vaz-de-Mello, F. Z. (2019). Taxonomic revision of *Dichotomius* (*Cephagonus*) Luederwaldt 1929 and the taxonomic status of remaining *Dichotomius* Hope 1838 subgenera (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae: Dichotomiini). *Journal of Natural History*, 53(37–38), 2231–2351. <https://doi.org/10.1080/00222933.2019.1692088>

- Pacheco, D. G. (2021) Análise das mudanças do uso e ocupação do solo no município de Araçuaí, Minas Gerais por meio de técnicas de sensoriamento remoto nos anos de 2000 e 2019. *Revista Cerrados*, v. 19, n. 2, p. 303–322.
- Rodrigues, M. M.; Uchôa, M. A.; Ide, S. (2013) Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeoidea) in three landscapes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 73, n. 1, p. 211–220. <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-69842013000100023>
- Sakai, S.; Inoue, T. (1999) A new pollination system: dung-beetle pollination discovered in *Orchidantha inouei* (Labiaceae, Zingiberales) in Sarawak, Malaysia. *American Journal of Botany*, v. 86, p. 56–61.
- Scheffler, P. Y. (2005) Dung beetle (Coleoptera: scarabaeidae) diversity and community structure across three disturbance regimes in eastern amazonia. *Journal Of Tropical Ecology*, v. 21, n. 1, p. 9-19. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0266467404001683>.
- Silva, R. J.; Coletti, F.; Costa, D. A.; Vaz-De-Mello, F. Z. (2014) Rola-bostas (Coleoptera: scarabaeidae. *Acta Amazonica*, v. 44, n. 3, p. 345-352. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201304472>.
- Silva, L. M.; Ferreira, R. L. (2015) Impacto ambiental pela mineração de carvão no Sul de Santa Catarina. *Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 6, n. 4, p. 1–18.
- Silva, R. J.; Ribeiro, H. V.; Souza, M. F.; Vaz-De-Mello, F. Z. (2015) Influência da granulometria do solo na estrutura de guildas funcionais de besouros rola-bostas (Coleoptera: scarabaeidae. *Bioscience Journal*, v. 31, n. 2, p. 601-612. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/bj-v31n1a2015-23525>.
- SLADE, E. M., MANN, D. J., VILLANUEVA, J. F., LEWIS, O. T. (2007) Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. *Journal of Animal Ecology*, v. 76, p. 1094–1104 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01296.x>
- Sonter LJ, Ali SH, Watson JEM. (2018) Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proc. R. Soc. B* 285: 20181926. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>
- Sterba, J.; Krzemień, A.; Fernández, P. R.; García-Miranda, C. E.; Valverde, G. F. (2019) Lithium mining: accelerating the transition to sustainable energy. *Resources Policy*, v. 62, p. 416-426. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.05.002>.
- Stumpf, L., Pauletto, E. A., Fernandes, F. F., Suzuki, L. E. A. S., Silva, T. S. da, Pinto, L. F. S., & Lima, C. L. R. de, (2014). Perennial grasses for recovery of the aggregation capacity of a reconstructed soil in a coal mining area in southern Brazil. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 38(1), 327–335. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100033>
- Tissiani, A. S. De O.; Vaz-De-Mello, F. Z.; Campelo-Junior, J. H. (2017) Dung beetles of Brazilian pastures and key to genera identification (Coleoptera: scarabaeidae). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 6, p. 401-418. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000600004>.
- United States Geological Survey. *Mineral Commodity Summaries 2024*. [S.I.]: U.S. Geological Survey, 2024. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2024>>. Acesso em: 02 dez. 2024.

- Vaz-De-Mello, F., Larsen, T., Silva, F., Gill, B., Spector, S. & Favila, M. (2014) *Canthidium manni*. In: The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1. <www.iucnredlist.org>.
- Vaz-De-Mello, F. Z.; Bavutti, L. L. O.; Flechtmann, C. A. H.; Puker, A.; Correa, C. M. A. (2017) Lista de espécies dos Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 107. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4766e2017120>.
- Vulinec, K. (2002) Dung Beetle Communities and Seed Dispersal in Primary Forest and Disturbed Land in Amazonia1. *Biotropica*, v. 34, n. 2, p. 297. Association for Tropical Biology. [http://dx.doi.org/10.1646/0006-3606\(2002\)034\[0297:dbcasd\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1646/0006-3606(2002)034[0297:dbcasd]2.0.co;2).
- Walther, Gr., Post, E., Convey, P. *et al.* (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389–395. <https://doi.org/10.1038/416389a>
- World Mining Data 2024: Iron and Ferro-Alloy Metals, Non-Ferrous Metals, Precious Metals, Industrial Minerals and Mineral Fuels. Iron and Ferro-Alloy Metals, Non-Ferrous Metals, Precious Metals, Industrial Minerals and Mineral Fuels. 2024. Disponível em: https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data___PDF-Files. Acesso em: 2 fev. 2025.
- Yamada, D.; Imura, O.; Shi, K.; Shibuya, T. (2007) Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *Grassland Science*, v. 53, p. 121–129. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2007.00082.x>
- Yokoyama, K.; Kai, H. Distribution and flow of nitrogen in cow dung-soil system colonized by paracoprid dung beetles. *Edaphologia*, v. 50, p. 1–10, 1993.
- Yokoyama, K.; Kay, H.; Koga, T.; Aibe, T. (1991a) Nitrogen mineralization and microbial populations in cow dung, dung balls and underlying soil affected by paracoprid dung beetles. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 23, p. 649–653. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90078-x](https://doi.org/10.1016/0038-0717(91)90078-x)
- Yokoyama, K.; Kai, H.; Tsuchiyama, H. (1991b) Paracoprid dung beetles and gaseous loss of nitrogen from cow dung. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 23, p. 643–647. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90077-W](https://doi.org/10.1016/0038-0717(91)90077-W)
- Zhang, Y.; Hu, Y.; Wang, L.; Sun, W. (2019) Systematic review of lithium extraction from salt-lake brines via precipitation approaches. *Minerals Engineering*, v. 139, p. 105868, Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105868>.
- Zung, S.; Michelon, L.; Cordeiro, Q. (2018) O uso do lítio no transtorno afetivo bipolar. *Arquivos Médicos: Dos hospitais e da Faculdade de ciências médicas da Santa Casa de São Paulo*, São Paulo, v. 55, n. 1, p. 30-37. Disponível em: <https://arquivosmedicos.fcmsantacasasp.edu.br/index.php/AMSCSP/article/view/310>. Acesso em: 29 nov. 2024.