



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BALSAS - CESBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE -
PPGAA**

VINICIUS ROCHA DA SILVA

**COMUNIDADE DE BESOUROS ESCARABEÍNEOS (COLEOPTERA:
SCARABAEIDAE: SCARABAEINAE) EM DIFERENTES PAISAGENS NA
REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LAJEADO, MARANHÃO**

Balsas - MA
2023

VINICIUS ROCHA DA SILVA

**COMUNIDADE DE BESOUROS ESCARABEÍNEOS (COLEOPTERA:
SCARABAEIDAE: SCARABAEINAE) EM DIFERENTES PAISAGENS NA
REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LAJEADO, MARANHÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Dr. Mário Luiz Ribeiro Mesquita

Coorientador: Dr. José Roberto Pereira de Sousa

S586c

Silva, Vinícius Rocha da.

Comunidade de besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) em diferentes paisagens na região da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão. /Vinicius Rocha da Silva. – Balsas, 2023.

63f.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Estadual do Maranhão/Balsas, 2023.

Orientador: Dr. Mário Luiz Ribeiro Mesquita.

1. Heterogeneidade ambiental. 2. Região Neotropical. 3. Espécies indicadoras. 4. Scarabaeinae. 5. Cerrado brasileiro I.Título.

CDU: 556.51

VINICIUS ROCHA DA SILVA

**COMUNIDADE DE BESOUROS ESCARABÉINEOS (COLEOPTERA:
SCARABAEIDAE: SCARABAEINAE) EM DIFERENTES PAISAGENS NA
REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LAJEADO, MARANHÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Dr. Mário Luiz Ribeiro Mesquita

Coorientador: Dr. José Roberto Pereira de Sousa

Aprovada em 31/03/2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 MARIO LUIZ RIBEIRO MESQUITA
Data: 31/03/2023 19:56:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Mário Luiz Ribeiro Mesquita (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Documento assinado digitalmente
 REINALDO LUCAS CAJAIBA
Data: 03/04/2023 14:58:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Reinaldo Lucas Cajaiba
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)

Documento assinado digitalmente
 JOUDELLYS ANDRADE SILVA
Data: 01/04/2023 19:20:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Joudellys Andrade Silva
Universidade Federal do Pará (MPEG)

“Sonhe alto, mas sonhe com os pés no chão”. Renato Russo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, e toda a minha família, pelo apoio e incentivo;

Ao meu orientador, Mário Luiz Ribeiro Mesquita (UEMA), pela paciência, apoio, e conhecimentos compartilhados, gratidão;

Ao meu coorientador, José Roberto Pereira de Sousa (UEMA), que foi sempre muito solícito e humano. O Roberto me orienta desde a iniciação científica, a convivência com ele foi muito importante para minha maturidade científica, gratidão;

A Michela Costa Batista (UEMA), pela contribuição intelectual na minha formação científica e todo suporte nas coletas dos besouros. A Michela também me orientou na iniciação científica e acompanhou grande parte da minha trajetória no mestrado, gratidão;

Nicolas Tavares e Leonardo Cunha, pelo suporte nas coletas dos besouros;

Ao Fernando Zagury Vaz de Mello (UFMT), por ter me proporcionado um grande aprendizado na identificação dos rola-bostas e por ter me auxiliado nas identificações;

Diego Felipe, Júlia Mauricio, Jorge Armando, Andressa Bach e Bruna, ao suporte e dicas para a correta montagem, etiquetagem e separação das espécies;

Ao psicólogo Fernando Augusto, que no dia da minha pior crise emocional me incentivou a dar a volta por cima e prosseguir com a pesquisa;

Francisco Maciel, Dyane de Lima, Jairo de Souza, Diéssica Letícia, Raianara Andrade, Ideane Silva, Natannael Castro, Cristiele Assunção e Jemima Camelo, meus colegas do mestrado, pela ajuda, esclarecimentos de dúvidas e momentos que passamos juntos, gratidão;

A Universidade Estadual do Maranhão – UEMA e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA, pelo incentivo e suporte para realização desse trabalho;

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pela bolsa concedida;

Ao longo desses dois anos de Mestrado morei em duas cidades, Balsas-MA e Cuiabá-MT. Foi um grande desafio e experiência de vida.

RESUMO

Embora o Cerrado brasileiro seja considerado um dos *hotspots* de biodiversidade do mundo, conservar essa paisagem se tornou um grande desafio para cientistas e conservacionistas. Nesse bioma, a variação das condições ambientais em virtude das altas taxas de desmatamento, fragmentação e intensificação do uso da terra pode influenciar a distribuição das espécies, que apresentam associações com algumas características ambientais. Besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeinae) são insetos sensíveis a perturbações de habitat e têm sido utilizados para monitoramento de mudanças ambientais. O objetivo deste estudo foi estudar a diversidade das comunidades de besouros escarabeíneos (padrões de composição, riqueza e abundância) frente às mudanças da paisagem (florestas de galeria, fragmentos florestais e pastagens) na região da bacia do rio Lajeado, Cerrado maranhense. A amostragem (através de armadilhas do tipo *pitfall*) foi realizada em 30 áreas localizadas nos municípios de São João do Paraíso, Porto Franco, Lajeado Novo, Campestre do Maranhão e Ribamar Fiquene, Maranhão, Brasil. Coletamos 2.855 escarabeíneos pertencentes a 17 gêneros e 62 espécies. As espécies mais abundantes foram *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) (28,12%, n = 803), *Onthophagus* aff. *rubrescens* (Blanchard, 1846) (13,6%, n = 390) e *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) (5,11%, n = 146). A maior riqueza e abundância de espécies foi registrada no fragmento florestal, seguido de pastagem, enquanto que a floresta de galeria teve menor riqueza de espécies, mas abundância semelhante a pastagem. A composição de espécies foi dissimilar entre os ambientes florestais e as pastagens. As espécies *Canthon* aff. *xanthopus* (Blanchard, 1846) e *Deltochilum enceladus* (Kolbe, 1893) foram associadas aos fragmentos florestais. *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886), *Canthon octodentatus* (Schmidt, 1920), *Coprophanaeus magnoi* (Arnaud, 2002), *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846), *Dichotomius nisus* (Olivier, 1789) e *Pseudocanthon xanthurus* (Blanchard, 1846) tiveram forte relação com as pastagens. A espécie *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) foi associada aos fragmentos florestais e florestas de galeria. Nossos resultados fornecem evidências de que existem distribuições e associações significativas entre as espécies de besouros e a estrutura ambiental das diferentes paisagens da bacia do rio Lajeado. Diante disso, é necessário a implementação de políticas de gestão ambiental por parte dos órgãos competentes, visando o desenvolvimento de medidas objetivando a preservação das áreas da região do estudo que atualmente sofrem com processos de antropização, a fim de minimizar os impactos causados nas comunidades de besouros escarabeíneos.

Palavras-chave: Heterogeneidade ambiental, Região Neotropical, Espécies indicadoras, Scarabaeinae, Cerrado brasileiro.

ABSTRACT

The Brazilian Cerrado is considered one of the world's biodiversity *hotspots*, thus conserving this landscape has become a major challenge for scientists and conservationists. In this biome, the variation in environmental conditions due to high rates of deforestation, fragmentation and intensification of land use can influence the distribution of species, which are associated with some environmental characteristics. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) are insects sensitive to habitat disturbances and have been used to monitor environmental changes. The objective of this research was to study the diversity of the dung beetle communities (composition patterns, richness and abundance) in the face of landscape changes (gallery forests, forest fragments and pastures) in the Lajeado river basin region, Cerrado of the state of Maranhão. Sampling (through pitfall traps) was carried out in 30 areas located in the municipalities of São João do Paraíso, Porto Franco, Lajeado Novo, Campestre do Maranhão and Ribamar Fiquene, Maranhão, Brazil. We collected 2,855 dung beetles belonging to 17 genera and 62 species. The most abundant species were *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) (28.12%, n = 803), followed by *Onthophagus* aff. *rubrescens* (Blanchard, 1846) (13.6%, n = 390) and *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) (5.11%, n = 146). The highest species richness and abundance were recorded in the forest fragment, followed by pasture, while the gallery forest had lower species richness, but similar abundance to pasture. Species composition was dissimilar between forest and pasture environments. The species *Canthon* aff. *xanthopus* (Blanchard, 1846) and *Deltochilum enceladus* (Kolbe, 1893) were associated with forest fragments. *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886), *Canthon octodentatus* (Schmidt, 1920), *Coprophanæus magnoi* (Arnaud, 2002), *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846), *Dichotomius nisus* (Olivier, 1789) and *Pseudocanthon xanthurus* (Blanchard, 1846) had strong relationship with pastures. The species *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) was associated with forest fragments and gallery forests. Our results provide evidence that there are significant distributions and associations between beetle species and the environmental structure of the different landscapes of the Lajeado river basin. In view of this, it is necessary to implement environmental management policies by the competent bodies, aiming at the development of measures aimed at preserving the areas of the study region that currently suffer from anthropization processes, in order to minimize the impacts caused in the communities of dung beetles.

Keywords: Environmental heterogeneity, Neotropical Region, Indicator species, Scarabaeinae, Brazilian Cerrado.

SUMÁRIO

I INTRODUÇÃO GERAL	11
II OBJETIVOS	13
i Objetivo Geral	13
ii Objetivos Específicos	13
III REFERÊNCIAS	14
IV CAPÍTULOS	17
Capítulo I. A influência da heterogeneidade ambiental na estrutura da assembleia de besouros (Coleoptera: Scarabaeidae) do Cerrado, Nordeste do Brasil	19
Introdução.....	19
Material e Métodos.....	21
Área de estudo	21
Amostragem e identificação dos besouros escarabeíneos	24
Análise de dados.....	25
Resultados.....	26
Composição e abundância	26
Riqueza de espécies	30
Composição de espécies entre as paisagens da bacia hidrográfica do rio lajeado	32
Associação das espécies de Scarabaeinae com as diferentes paisagens.....	34
Discussão.....	35
Referências.....	39
Capítulo II. Associação de escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae) às diferentes paisagens do Cerrado na bacia do rio Lajeado, Nordeste do Brasil	47
1 INTRODUÇÃO.....	47
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	50
2.1 Área de Estudo.....	50
2.2 Amostragem e identificação dos besouros escarabeíneos	50
2.3 Variáveis ambientais.....	50
2.4 Análise de dados	50

3 RESULTADOS	51
3.1 Composição e abundância	51
3.2 Avaliação do efeito das variáveis abióticas sobre os padrões de composição de escarabeíneos.....	52
4 DISCUSSÃO	54
5 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57
V CONCLUSÃO GERAL.....	63

I INTRODUÇÃO GERAL

A região do Cerrado brasileiro é formada por um conjunto de ecossistemas que contempla alta biodiversidade (COSTA et al., 2020). No entanto, nos últimos 50 anos, 53% de sua vegetação original foi convertida para agricultura e pastagens (FONSECA et al., 2022). Essas alterações de origem antrópica trouxeram grandes danos ambientais, tais como: fragmentação de habitats, redução da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, degradação de ecossistemas e alterações nos regimes de queimadas (KLINK; MACHADO, 2005). Por exemplo, queimadas descontroladas e intensas, podem causar perda de espécies endêmicas, invasão de espécies exóticas e mudanças na estrutura da paisagem (KLINK; MOREIRA, 2002; SHLISKY et al., 2007; PIVELLO, 2011). Já a exclusão do fogo pode levar ao adensamento da vegetação e a homogeneização de espécies e dos ambientes (PINHEIRO et al., 2016; ABREU et al., 2017). Como consequência da homogeneização dos ambientes, há um decréscimo na diversidade das comunidades biológicas, permitindo o estabelecimento de espécies generalistas ou mais competitivas, reduzindo a diversidade de espécies nativas, o que pode levar a redução das espécies nestes locais (BENTON et al., 2003).

Diante da presença de níveis diferenciados de conservação/degradação (e.g. ambientes de pastagens, fragmentos florestais e florestas de galeria) é esperado encontrar diferenças nos padrões de composição, riqueza e abundância de espécies dos grupos de insetos, uma vez que a antropização causa a perda de heterogeneidade ambiental, alterando os atributos do habitat (SILVA et al., 2010; GUERRA et al., 2012).

Os invertebrados, particularmente insetos, têm sido utilizados com sucesso em estudos de bioindicação da qualidade ambiental, onde sua presença/ausência pode indicar impactos ambientais no ecossistema na qual estão inseridos (PRESTES; VICENCI, 2019). Nesse sentido, a ordem Coleoptera se destaca pela sua grande importância econômica e ecológica no funcionamento de diferentes ecossistemas (COSTA et al., 2014). Esta ordem é muito diversificada, tanto em número de espécies quanto em tipos de ambientes diversos que podem ser explorados (VANIN; IDE, 2002; NICHOLS et al., 2009). No Brasil, são registradas aproximadamente 36 mil espécies pertencentes a 160 famílias (MONNÉ; COSTA, 2023). Para a subfamília Scarabaeinae, são registradas 784 espécies válidas, distribuídas em 68 gêneros (VAZ-DE-MELLO, 2023).

Os besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeinae) apresentam ampla distribuição geográfica, e representam um importante componente da biodiversidade, estando

presentes tanto em paisagens de formação aberta (SCHOLTZ et al., 2009) quanto em ambientes heterogêneos e fechados como ecossistemas florestais, onde é possível encontrar grande variedade de espécies em virtude da preservação da floresta (LIMA et al., 2022). São facilmente amostrados, respondem às mudanças ambientais e apresentam importância ecológica e econômica (SPECTOR, 2006; NICHOLS et al., 2013). Devido à variação dos fatores ambientais e estrutura ambiental do Cerrado e a sensibilidade das espécies a modificação na estrutura dos habitats, a compreensão da importância dos impactos causados pela mudança do uso da terra sobre a comunidade dos besouros se torna um desafio constante para tomadas de decisões que visam a conservação. Como estes besouros demonstram ser bioindicadores de alto desempenho e grande aplicabilidade, suas características os tornam organismos-alvo para serem utilizados em estudos de impacto e monitoramento ambiental (CAJAÍBA et al., 2017; SANTOS et al., 2018; SILVA et al., 2021).

As paisagens escolhidas para o estudo estão inseridas na bacia hidrográfica do rio Lajeado localizada no estado do Maranhão, território onde predomina o bioma Cerrado. Apesar de ser importante para a manutenção da vida, a bacia do rio Lajeado tem enfrentado um forte processo de desmatamento para implantação de pastagens e agricultura, além da deterioração das suas características físicas, químicas e biológicas, devido à ação antrópica (GONZÁLEZ et al., 2021). Portanto, este trabalho com a comunidade de besouros escarabeíneos, pode gerar respostas que indicariam áreas relevantes (florestas de galeria, fragmentos florestais e pastagens) para a preservação das espécies de rola-bostas, tornando-se útil para futuros diagnósticos de áreas adjacentes às bacias hidrográficas que tem sofrido com impactos ambientais e conseqüentemente, uma considerável perda de biodiversidade, além de contribuir para o conhecimento dos padrões de biodiversidade da escarabeofauna em ecossistemas do Cerrado.

Por isso, nessa dissertação, através da amplitude da distribuição dos besouros rola-bostas, foi investigado quais os principais efeitos da mudança das paisagens sobre os padrões de composição, riqueza e abundância das comunidades de espécies de besouros inseridas no contexto do bioma Cerrado na região da bacia do rio Lajeado.

A dissertação está dividida em dois capítulos: o primeiro com o título “**A influência da heterogeneidade ambiental na estrutura da assembleia de besouros (Coleoptera: Scarabaeidae) do Cerrado, Nordeste do Brasil**”, objetivando estudar a diversidade (composição, riqueza e abundância) da comunidade de besouros escarabeíneos frente às mudanças da paisagem (florestas de galeria, fragmentos florestais e pastagens), bem

como, analisar quais espécies de escarabeíneos estão associadas com as diferentes paisagens da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão. Nesse contexto, testamos as seguintes hipóteses: (i) a diversidade (composição, riqueza e abundância) de escarabeíneos varia em função do tipo de paisagem, sendo esperado que as áreas de fragmentos florestais e florestas de galeria possuam maior abundância e riqueza de espécies em comparação com áreas de pastagem; (ii) áreas de fragmentos florestais e florestas de galeria apresentam composição de espécies mais similares entre si, enquanto são dissimilares à composição de espécies encontradas em pastagens; (iii) os escarabeíneos se associam aos ambientes que podem oferecer melhores condições de sobrevivência, abrigo e reprodução.

No segundo capítulo, intitulado: “**Associação de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) às diferentes paisagens do Cerrado na bacia do rio Lajeado, Nordeste do Brasil**”, avaliou-se a influência das variáveis ambientais sobre as comunidades das espécies de besouros nos diferentes ecossistemas, a fim de notabilizar áreas prioritárias para a preservação. Nesse sentido, testamos a seguinte hipótese: As espécies de escarabeíneos são influenciadas por fatores ambientais, sendo esperado que a comunidade de escarabeíneos apresentará diferentes associações de acordo com a variação das características ambientais das paisagens estudadas.

II OBJETIVOS

i Objetivo Geral

Estudar a diversidade das comunidades de besouros escarabeíneos (padrões de composição, riqueza e abundância) frente às mudanças da paisagem (florestas de galeria, fragmentos florestais e pastagens), na bacia hidrográfica do rio Lajeado, Cerrado maranhense.

ii Objetivos Específicos

- Analisar se a diversidade das espécies de besouros escarabeíneos (padrões de composição, riqueza e abundância) difere em função das diferentes paisagens na região da bacia do rio Lajeado;
- Avaliar quais espécies de Scarabaeinae são associadas aos diferentes tipos de ambientes amostrados na região da bacia do rio Lajeado;

- Entender o efeito das variáveis ambientais sobre a diversidade (padrões de composição, riqueza e abundância) de escarabeíneos.

III REFERÊNCIAS

ABREU, R. C. R.; HOFFMANN, W. A.; VASCONCELOS, H. L.; PILON, N. A.; ROSSATTO, D. R.; DURIGAN, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science advances**, v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017.

BENTON, T. G.; VICKERY, J. A.; WILSON, J. D. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? **Trends in Ecology and Evolution** 18: 182–188p., 2003.

CAJAIBA, R. L.; PÉRICO, E.; DALZUCHIO, M. S.; DA SILVA, W. B.; BASTOS, R.; CABRAL, J. A & SANTOS, M. Does the composition of Scarabaeidae (Coleoptera) communities reflect the extent of land use changes in the Brazilian Amazon?. **Ecological Indicators**, 74, 285-294, 2017.

COSTA, E. M.; ARAUJO, E. L.; DA SILVA, F. E. L.; NOGUEIRA, C. H. F. & SILVA, P. A. F. Diversidade de Coleópteros em área cultivada com melancia no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Agro@mbiente On-line**, 8(2), 293-297, 2014.

COSTA, F. G.; COSTA, V. S.; MARTINS, I. C.; BRITO, E. C.; SOARES, K. S. A.; CASTRO, Y. A. A.; CASTRO, I. F. A. Conhecendo o Cerrado: aulas de campo e sua importância para o conhecimento e preservação ambiental. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e1589108201-e1589108201, 2020.

FONSECA, M. R. S.; UAGODA, R.; CHAVES, H. M. L. Rates, factors, and tolerances of water erosion in the Cerrado biome (Brazil): A meta-analysis of runoff plot data. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 47, n. 2, p. 582-595, 2022.

GONZÁLEZ, T. M.; GONZÁLEZ-TRUJILLO, J. D.; MUÑOZ, A.; ARMENTERAS, D. Differential effects of fire on the occupancy of small mammals in neotropical savanna-gallery forests. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(2), 179-188, 2021.

GUERRA, W. D.; OLIVEIRA, P. C.; PUJOL-LUZ, J. R. Gafanhotos (Orthoptera, Acridoidea) em áreas de cerrados e lavouras na Chapada dos Parecis, Estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 56, n. 2, p. 228-239, 2012.

KLINK, C. A.; A. G. MOREIRA. Past and current human occupation and land-use. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). *The Cerrado of Brazil. Ecology and natural history of a neotropical savanna*. **Columbia University Press**, p. 69-88, 2002.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LIMA, R. C.; HOFFMANN, M.; VICENTE, R. E. Community Structure of Dung Beetles (Scarabaeidae: Scarabaeinae) in The Atlantic Forest of the Reserva Natural Vale (Linhares, Espírito Santo, Brazil). **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, v. 12, n. 4, 2022.

MONNÉ, M. L.; COSTA, C. Coleoptera in **Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD, 2023. Disponível em: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/223>. Acesso em: 22 fev. 2023.

NICHOLS, E.; URIARTE, M.; BUNKER, D. E.; FAVILA, M. E.; SLADE, E. M.; VULINEC, K.; LARSEN, T.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; LOUZADA, J.; NAEEM, S.; SPECTOR, S. H. Trait-dependent response of dung beetle populations to tropical forest conversion at local and regional scales. **Ecology** 94, 180–189, 2013.

NICHOLS, E.; GARDNER, T. A.; PERES, C. A.; SPECTOR, S. Co-declining mammals and dung beetles: an impending ecological cascade. **Oikos**, v.118, p. 481-487, 2009.

PINHEIRO, L. F. S.; KOLB, R. M.; ROSSATTO, D. R. Changes in irradiance and soil properties explain why typical non-arboreal savanna species disappear under tree encroachment. **Australian Journal of Botany** 64, 333–341, 2016.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**, 24–39, 2011.

PRESTES, R. M.; VINCENCI, K. L. Bioindicators as environmental impact assessment. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019.

SANTOS, R. S.; SUTIL, W. P.; OLIVEIRA, J. F. A. Besouros escarabeídeos (coleoptera: scarabaeidae) coletados em remanescente florestal em Rio Branco, Acre, Brasil. **Agrotropica** 30(1): 43–48, 2018.

SCHOLTZ, C. H.; DAVIS, A. L. V.; KRYGER, U. Evolutionary Biology and Conservation of Dung Beetles. **Bulgaria: Pensoft**. P. 567, 2009.

SHLISKY, A.; WAUGH, J.; GONZALEZ, P.; GONZALEZ, M.; MANTA, M.; SANTOSO, H.; ALVARADO, E.; NURUDDIN, A. A.; RODRÍGUES-TREJO, D. A.; SWATY, R.; SCHMIDT, D.; KAUFMANN, M.; MYERS, R.; ALENCAR, A.; KEARNS, F.; JOHONSON, D.; SMITH, J.; ZOLLNER, D. Fire, Ecosystems & People: Threats and Strategies for Global Biodiversity Conservation. GFI Technical Report. **The Nature Conservancy**, Arlington, VA, 2007.

SILVA, D. P.; MARCO, P. J. R.; RESENDE, D. C. Adult odonate abundance and community assemblage measures as indicators of stream ecological integrity: A case study. **Ecological Indicators**, vol. 10, 744–752p., 2010.

SILVA, J. L.; SILVA, R. J.; FERNANDES, I. M.; SOUSA, W. O.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. Species composition and community structure of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) compared among savana and forest formations in the southwestern Brazilian Cerrado. **Zoologia** 37: e 58960, 2021.

SPECTOR, S. Scarabaeinae Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. **The Coleopterists Bulletin** 5, 71-86, 2006.

VANIN, S. A.; IDE, S. Classificação comentada de Coleoptera. Proyecto de Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática **Pribes**, 193–205p., 2002.

VAZ-DE-MELLO, F. Z. Scarabaeidae in **Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD, 2023. Disponível em: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/127498>. Acesso em: 22 fev. 2023.

IV CAPÍTULOS

CAPÍTULO I

A influência da heterogeneidade ambiental na estrutura da assembleia de besouros (Coleoptera: Scarabaeidae) do Cerrado, Nordeste do Brasil

Capítulo elaborado de acordo com as normas do periódico *Journal of Insect Conservation*

Capítulo I. A influência da heterogeneidade ambiental na estrutura da assembleia de besouros (Coleoptera: Scarabaeidae) do Cerrado, Nordeste do Brasil

Resumo

Embora os besouros escarabeíneos possuam grande importância ecológica no funcionamento dos ecossistemas tropicais, como a diversidade de espécies varia com as mudanças no uso da terra, é pouco compreendida no Cerrado brasileiro. Comparamos a diversidade (padrões de composição, riqueza e abundância) de escarabeíneos entre três tipos de ambientes, florestas de galeria, fragmentos florestais e pastagens, bem como, analisamos quais espécies de escarabeíneos estão associadas com as diferentes paisagens da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão. A amostragem (armadilhas *pitfall*) foi realizada em 30 áreas, sendo 10 áreas em cada um dos ambientes, localizadas em cinco municípios do nordeste Brasileiro. Coletamos 2.855 escarabeíneos (17 gêneros e 62 espécies), com o fragmento florestal apresentando maior riqueza e abundância de espécies. A pastagem e a floresta de galeria apresentaram menor abundância e riqueza de espécies. A composição de espécies foi dissimilar entre os ambientes florestais e as pastagens. As espécies *Canthon* aff. *xanthopus* (Blanchard, 1846) e *Deltochilum enceladus* (Kolbe, 1893) foram associadas aos fragmentos florestais. *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886), *Canthon octodentatus* (Schmidt, 1920), *Coprophanæus magnoi* (Arnaud, 2002), *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846), *Dichotomius nisus* (Olivier, 1789) e *Pseudocanthon xanthurus* (Blanchard, 1846), tiveram uma forte relação com as pastagens. *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) foi associada aos ambientes de fragmentos florestais e florestas de galeria. Nosso estudo enfatiza a importância de conservação da heterogeneidade dos habitats do Cerrado, proporcionando melhor disponibilidade de recursos para a comunidade de escarabeíneos e seus serviços ecossistêmicos, uma vez que estes besouros tiveram preferências específicas de habitat.

Palavras-chave: Mudanças de uso da terra, Heterogeneidade ambiental, Diversidade de espécies, Scarabaeinae, Cerrado brasileiro

Introdução

A expansão da agricultura, especialmente monoculturas de soja, lavouras e pastagens para a criação de gado de corte são considerados como os principais fatores que contribuem para o desflorestamento, homogeneização e perda da biodiversidade no Cerrado brasileiro (Dos Santos et al. 2021; Rodrigues et al. 2022). A substituição da vegetação nativa por pastagens provoca a degradação ambiental em virtude da remoção da cobertura vegetal original, sendo responsável pelo processo erosivo do solo, assoreamento dos rios e deterioração da qualidade das águas das bacias hidrográficas (Zhang et al. 2021). Além disso, os ecossistemas florestais, que desempenham funções ecológicas importantes ao longo das

bacias hidrográficas sofrem demasiadamente com impactos ambientais decorrentes da ação antrópica (Duguma et al. 2019).

Apesar disso, é possível encontrar diferentes paisagens ao longo das bacias hidrográficas, no bioma do Cerrado maranhense, com diferentes níveis de conservação como, por exemplo: pastagens, fragmentos florestais e florestas de galeria. Essas diferentes paisagens podem exercer papéis importantes para a complexidade da estrutura do habitat, visto que a variação na vegetação, clima e densidade geram condições ambientais adequadas para a sobrevivência e diversificação de espécies (Negro et al. 2011). Embora, estes diferentes ambientes estejam passando por um processo de degradação em virtude do crescimento das cidades e da expansão agropecuária, que interferem nos padrões de ocorrência de espécies de animais (Lima et al. 2022).

A heterogeneidade ambiental é um fator importante no que concerne ao gradiente de riqueza de espécies animais, pois o aumento do espaço do nicho ecológico, a provisão de refúgios, de recursos alimentares e a adaptação podem melhorar a coexistência e diversificação das espécies (Macarthur e Macarthur 1961; Stein et al. 2014). E este padrão de distribuição e diversidade de riqueza das espécies sobretudo de insetos, também está relacionado com fatores ambientais, tais como, temperatura, umidade e tipo de vegetação (De Almeida e Louzada 2009), assim, modificações na estrutura da vegetação podem influenciar na composição de espécies (Macedo et al. 2020).

Os besouros escarabeíneos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) são bons bioindicadores ambientais por serem espécies sensíveis às mudanças de habitat (Rosenlew e Roslin 2008; Korasaki et al. 2013), e podem ser utilizados no monitoramento de perturbações ambientais (Bicknell et al. 2014; Edwards et al. 2014). As assembleias formadas por esses organismos atingem sua maior diversidade em ecossistemas preservados, nos quais eles são capazes de fornecer guildas funcionais distintas (Queiroz da Costa et al. 2009; Lima et al. 2013). Desse modo, a variação da paisagem sobre a comunidade de besouros escarabeíneos pode ser vista como uma resposta adaptativa as diferentes formações vegetais, sendo que a riqueza de espécies em áreas florestais e áreas abertas pode ser favorecida em detrimento de diferentes comportamentos de uso de recursos pelas diferentes espécies (Hernández et al. 2019).

Apesar das pastagens servirem de corredores e habitats secundários para espécies adaptadas a outros ambientes, o padrão de diversidade de escarabeíneos em pastagem, e os efeitos de diferentes usos da terra sobre essa comunidade devem ser analisados (Escobar et al. 2007; Van Schalkwyk et al. 2017). Embora haja alguns estudos que relacionam os efeitos de

usos da terra sobre a composição da comunidade de escarabeíneos no Cerrado (Batista et al. 2016; Macedo et al. 2020; Oliveira et al. 2021), a compreensão da influência humana na biodiversidade de escarabeíneos ainda é limitada, pois outras regiões deste bioma ainda precisam de investigações sobre a distribuição e conservação das espécies. Logo, pesquisas que evidenciam os impactos derivados da substituição da vegetação nativa por ecossistemas antrópicos são importantes para que gestores ambientais possam apoiar o desenvolvimento de medidas estratégicas de restauração e conservação dos ecossistemas naturais na região do nordeste (Prestes e Vincenci 2019; Oliveira et al. 2021), tendo em vista que a biodiversidade no bioma Cerrado está em constante ameaça e que os serviços ecológicos da escarabeofauna é de extrema importância para o funcionamento do ecossistema.

Diante disso, objetivamos estudar a diversidade das comunidades de besouros escarabeíneos (padrões de composição, riqueza e abundância) frente às mudanças da paisagem (florestas de galeria, fragmentos florestais e pastagens), bem como, analisar quais espécies de escarabeíneos estão associadas com as diferentes paisagens da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão. Nesse contexto, testamos as seguintes hipóteses: (i) a diversidade (composição, riqueza e abundância) de escarabeíneos varia em função do tipo de paisagem, sendo esperado que as áreas de fragmentos florestais e florestas de galeria possuam maior abundância e riqueza de espécies em comparação com áreas de pastagem; (ii) áreas de fragmentos florestais e florestas de galeria apresentam composição de espécies mais similares entre si, enquanto são dissimilares a composição de espécies encontradas em pastagens; (iii) os escarabeíneos se associam aos ambientes que podem oferecer melhores condições de sobrevivência, abrigo e reprodução.

Material e Métodos

Área de Estudo

O estudo foi conduzido em três paisagens distintas localizadas na região da bacia hidrográfica do rio Lajeado que está situada nos municípios maranhenses de São João do Paraíso, Porto Franco, Lajeado Novo, Campestre do Maranhão e Ribamar Fiquene (Fig. 1), entre as coordenadas geográficas 47°25'26,60" a 46°43'36,43" de longitude W Gr. e 6°5'22,58" a 6°39'33,61" de latitude S, distando aproximadamente 700 Km da capital do estado, possuindo uma área de 3.665,94 km². O clima da região é tropical, com menor

pluviosidade no inverno que no verão. Já a temperatura média da região é 27,1 °C e a pluviosidade média anual é de 1483 mm (INMET 2022).

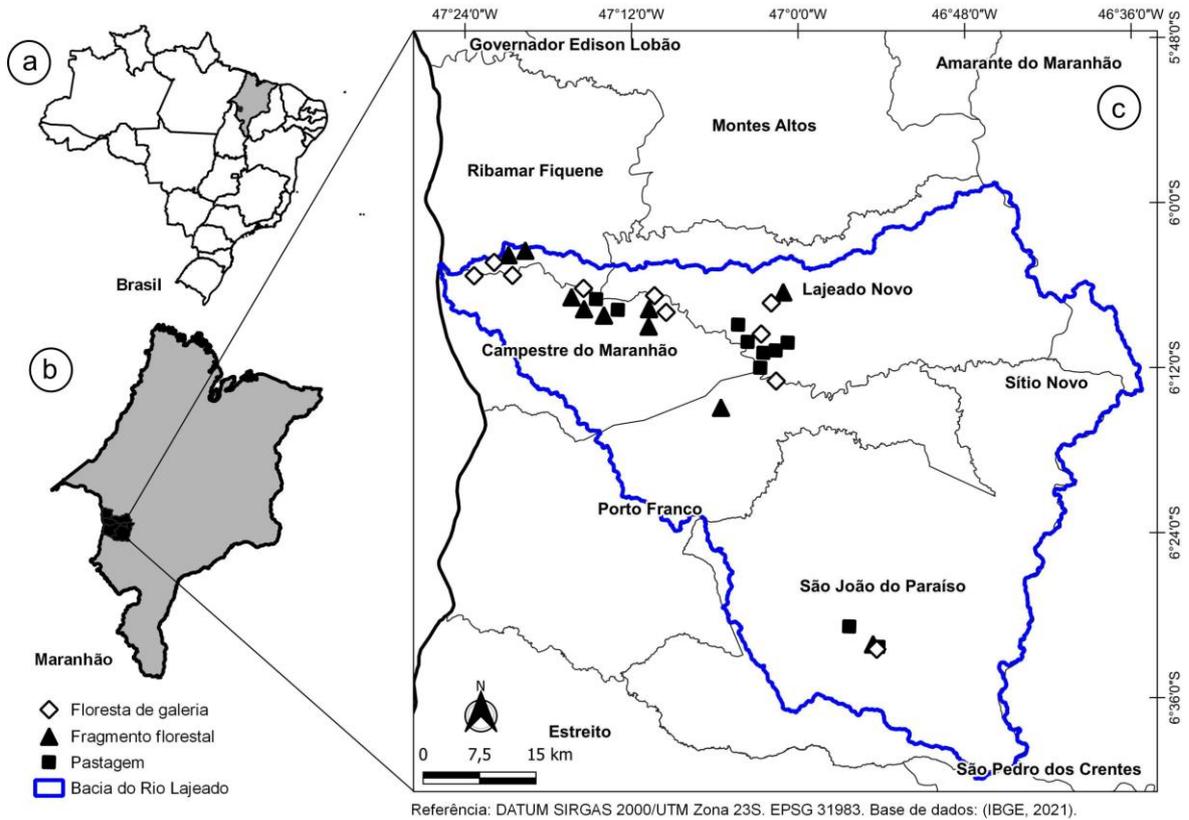


Fig. 1 Localização da bacia hidrográfica do rio Lajeado, com a distribuição das áreas de coleta nas três paisagens: Floresta de Galeria, Fragmento Florestal e Pastagem, nos municípios de São João do Paraíso, Porto Franco, Lajeado Novo, Campestre do Maranhão e Ribamar Fiquene. Letras (a) Brasil, (b) Maranhão e (c) localização dos três ambientes, Maranhão, Brasil, 2022.

Três tipos de paisagens foram selecionadas: (i) Floresta de Galeria (FG), vegetação florestal secundária do tipo perenifólia que acompanha os pequenos rios e córregos, formando corredores fechados sobre o curso d'água, altura média das árvores de 10 a 15m, com matrizes de pastagens aos entornos (Fig. 2a); (ii) Fragmento Florestal (FF), fragmentos de floresta secundária constituído por espécies arbóreas, com altura média das árvores de 10 a 20m (Fig. 2b) e (iii) Pastagem (PA), pastagens de capim braquiária (*Brachiaria* spp.) com presença esparsa de espécies arbóreas não cultivadas, como por exemplo palmeiras de babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex. Spreng) (Fig. 2c).

O universo amostral compreende 30 áreas, sendo 10 áreas de florestas de galeria, 10 áreas de fragmentos florestais e 10 áreas de pastagens. As florestas de galeria variaram entre 23,09 a 125,02 m de largura total. Os fragmentos florestais variaram entre 5,2 a 278 ha. As pastagens variaram entre 5,44 a 12,47 ha. As áreas foram escolhidas aleatoriamente com distância mínima de dois km. As coletas foram realizadas nos períodos de janeiro, maio, julho, agosto e outubro de 2021 e janeiro, abril e junho de 2022, resultando num total de oito coletas.

Para realização das coletas de besouros escarabeíneos, foi obtida autorização ao Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO (Processo nº 78122-1).



Fig. 2 Paisagens: Floresta de Galeria (FG) (a), Fragmento Florestal (FF) (b), Pastagem (PA) (c)

Amostragem e identificação dos besouros escarabeíneos

Os besouros escarabeíneos foram coletados por meio de armadilhas tipo *pitfall*, que é composta por um recipiente plástico de 10 cm de diâmetro e 10 cm de profundidade. A armadilha foi enterrada com sua abertura ao nível do solo, contendo 200 ml de solução salina (NaCl) adicionado de cinco gotas de detergente líquido. Além disso, foi utilizado um copo plástico descartável de 50 ml como suporte para a isca, que ficou preso ao recipiente por meio de um arame fino, transpassado em sua borda, que o manteve pendurado e centralizado na armadilha. Para diminuir a incidência de luz solar e da chuva, a armadilha foi protegida utilizando uma cobertura de plástico de 20 cm de cor branca, apoiada por três palitos de madeira, que ficaram a 15 cm de altura em relação ao solo (Marchiori 2016).

Nas armadilhas do tipo *pitfall*, foram utilizados três tipos de iscas: fezes humanas, banana fermentada e carne putrefata. As armadilhas com os diferentes tipos de iscas possibilitaram o aumento do esforço amostral. Foram colocadas seis armadilhas por área, totalizando (180) nas 30 áreas dos três ambientes (florestas de galeria, fragmentos florestais e pastagens), as quais ficaram distribuídas aleatoriamente no transecto de 250m, distanciadas 50m entre si e expostas por um período de até 48 horas (Fig. 3). Para evitar possíveis efeitos de bordas nas áreas dos fragmentos florestais, o transecto foi instalado no mínimo a 200m da borda.

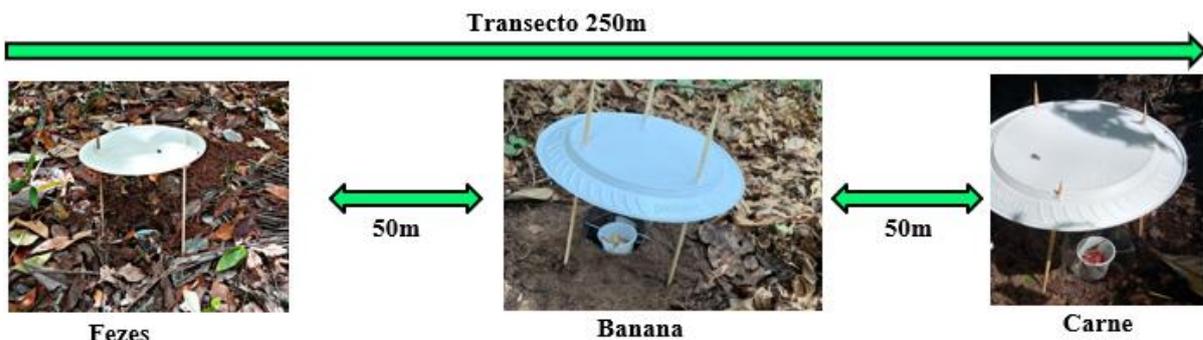


Fig. 3 Esquema de distribuição das armadilhas do tipo *pitfall* iscadas.

Os Scarabaeinae foram montados, etiquetados e identificados nível de gênero onde foi utilizado a chave proposta por Vaz-de-Mello et al. (2011). A identificação em nível específico dos Scarabaeinae, foi realizada em conjunto com o especialista do grupo, o Prof. Dr. Fernando Zagury Vaz-de-Mello (UFMT/Cuiabá/MT). E todo o material foi depositado no Setor de Entomologia da Coleção Zoológica da Universidade Federal de Mato Grosso (CEMT), Cuiabá, Mato Grosso.

Análise de dados

Para melhor visualização da distribuição das espécies amostradas nos ambientes de pastagem, floresta de galeria e fragmento florestal, foi gerado um diagrama de Venn, através do pacote: VennDiagram (Chen 2022).

Para verificar a existência de diferença nos padrões de abundância de besouros escarabeíneos entre as três paisagens foi utilizado a Análise-de-Variância de um critério (ANOVA). Os dados foram transformados em log ($\log(x+1)$) para reduzir os efeitos discrepantes e obter homogeneidade de variâncias. A homogeneidade das variâncias foi verificada por meio do Teste de Levene para Homogeneidade das Variâncias. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Quando a ANOVA indicou diferenças na média entre os ambientes, foi realizado o teste de Tukey a 5% de significância para encontrar as diferenças.

Comparamos a riqueza de espécies entre as paisagens usando curvas de rarefação e extrapolação baseadas em até o dobro do tamanho da amostra de referência (ponto de corte), para que a abundância não influencie na riqueza. Sendo assim, usamos o pacote iNEXT (Hsieh et al. 2016), apenas para Hill números de $q = 0$ (riqueza de espécies). As curvas foram geradas com intervalos de confiança a 95% obtidos pelo método de *Bootstrap*, o que facilita a comparação da comunidade de amostra extrapolada (Chao et al. 2014).

As estimativas de riqueza de espécies foram calculadas no programa EstimateS (*Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples*) versão 9.0 (Colwell 2013). Utilizamos a riqueza estimada do estimador *jackknife* de primeira ordem (Colwell et al. 2004). Para verificar se existe diferença nos padrões de riqueza estimada entre as três paisagens foi utilizado a Análise-de-Variância de um critério (ANOVA). Quando a ANOVA indicou diferenças na média entre os ambientes, foi realizado o teste de Tukey a 5% de significância para encontrar as diferenças.

Para a obtenção do grau de semelhança entre as unidades amostrais e verificar se a diversidade forma agrupamentos de acordo com os sítios amostrados, ou seja, se a diversidade se distribui de forma heterogênea ao longo das localidades, foi aplicada a análise de coordenadas principais (PCoA), que teve como base o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis (Legendre e Legendre 1998). O procedimento consiste em fornecer matrizes de distância, indicando a similaridade ou dissimilaridades entre os pontos. Para corroborar a hipótese, usamos uma PERMANOVA (teste de hipótese), aplicando 1.000 permutações.

Quando obtidos resultados significativos na PERMANOVA, foram realizados *a posteriori* testes pareados para comparação entre as paisagens.

A PCoA e a PERMANOVA foram realizadas através dos pacotes: mgcv (Wood 2017), ade4 (Bougeard e Dray 2018), stats (R Development Core Team 2021), vegan (Oksanen et al. 2020), permute (Simpson 2019), MASS (Venables e Ripley 2002) e lattice (Sarkar 2008).

Aplicamos a Análise de Espécies Indicadoras (IndVal) de Dufrêne e Legendre (1997) para avaliar o potencial do grupo de escarabeíneos como indicadores de condições ambientais. Utilizamos o pacote stats (R Core Team e colaboradores 2021) com o intuito de averiguar a robustez das associações das espécies com o ambiente, onde há uma variação de zero a um, e quanto mais próximo de um, mais robusta é a associação das espécies. Também usamos o pacote indicpecies (De Caceres e Legendre 2009) com 9.999 permutações, usando dados para a abundância de besouros.

As análises (Diagrama de Venn, Riqueza de espécies por rarefação e extrapolação, PCoA, PERMANOVA e IndVal) foram realizadas dentro da rotina do programa R versão 4.1.1 (R Development Core Team 2021).

Resultados

Composição e abundância

Foram coletados 2.855 escarabeíneos (distribuídos em 17 gêneros e 62 espécies), sendo 39 espécies (565 indivíduos), na Pastagem (PA), 23 espécies (504 indivíduos), na Floresta de Galeria (FG), 51 espécies (1.786 indivíduos), no Fragmento Florestal (FF).

No geral, as espécies mais abundantes foram *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) (28,12%, n = 803), *Onthophagus* aff. *rubrescens* (Blanchard, 1846) (13,6%, n = 390) e *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) (5,11%, n = 146), respectivamente. Para as pastagens, as espécies mais abundantes foram *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886) (86 indivíduos), seguido de *Trichillum externepunctatum* (Preudhomme de Borre, 1880) (59 indivíduos). Para as florestas de galeria, as espécies mais abundantes foram *Onthophagus* aff. *rubrescens* (Blanchard, 1846) (211 indivíduos), seguido de *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) (178 indivíduos). Para os fragmentos florestais, as espécies mais abundantes foram *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) (582 indivíduos), seguido de *Onthophagus* aff. *rubrescens* (Blanchard, 1846) (177 indivíduos) (Tabela 1).

Tabela 1 Composição e abundância das espécies de escarabeíneos coletados em três paisagens da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil.

Espécies	Paisagens			Total	%
	PA	FG	FF		
<i>Ateuchus</i> sp.1*	0	0	24	24	0.84
<i>Ateuchus</i> sp.2*	0	0	10	10	0.35
<i>Ateuchus</i> sp.3*	1	0	14	15	0.52
<i>Ateuchus</i> sp.4*	2	0	8	10	0.35
<i>Ateuchus</i> sp.5*	11	1	24	36	1.26
<i>Ateuchus</i> sp.6*	0	0	1	1	0.03
<i>Ateuchus</i> sp.7*	0	0	1	1	0.03
<i>Besourenge</i> sp	2	0	0	2	0.07
<i>Canthidium</i> aff. <i>barbacenicum</i> (Preudhomme de Borre, 1886)	86	0	1	87	3
<i>Canthidium</i> aff. <i>impressum</i> (Boucomont, 1928)	6	0	0	6	0.21
<i>Canthidium</i> sp.1*	0	0	34	34	1.19
<i>Canthidium</i> sp.2*	0	0	11	11	0.38
<i>Canthidium</i> sp.3*	0	0	6	6	0.21
<i>Canthidium</i> sp.4*	13	0	0	13	0.45
<i>Canthidium</i> sp.5*	0	0	1	1	0.03
<i>Canthidium</i> sp.6*	2	4	11	17	0.59
<i>Canthidium</i> sp.7*	2	9	9	20	0.7
<i>Canthidium</i> sp.8*	0	1	6	7	0.24
<i>Canthon conformis</i> (Harold, 1868)	31	1	81	113	3.95
<i>Canthon histrio</i> (Le Peletier & Serville, 1828)	43	178	582	803	28.12
<i>Canthon lituratus</i> (Germar, 1813)	9	0	25	34	1.19
<i>Canthon octodentatus</i> (Schmidt, 1920)	37	0	0	37	1.29
<i>Canthon</i> aff. <i>machadoi</i> (Pereira & Martinez, 1967)	0	0	50	50	1.75
<i>Canthon</i> aff. <i>piluliformis</i> (Blanchard, 1846)	5	0	7	12	0.42
<i>Canthon</i> aff. <i>xanthopus</i> (Blanchard, 1846)	1	1	36	38	1.33
<i>Canthon</i> sp.1*	54	0	2	56	1.95
<i>Canthon</i> sp.2*	2	0	9	11	0.38
<i>Canthonella</i> sp	0	0	1	1	0.03
<i>Coprophanæus cyanescens</i> (Olsoufieff, 1924)	2	17	7	26	0.91
<i>Coprophanæus ensifer</i> (Germar, 1821)	1	0	1	2	0.07
<i>Coprophanæus magnoi</i> (Arnaud, 2002)	7	0	0	7	0.24
<i>Deltochilum enceladus</i> (Kolbe, 1893)	0	0	23	23	0.8
<i>Deltochilum pseudoicarus</i> (Balthasar, 1939)	1	0	1	2	0.07
<i>Deltochilum</i> sp.1*	16	0	2	18	0.63
<i>Deltochilum</i> sp.2*	29	0	0	29	1.01
<i>Deltochilum</i> sp.3*	2	4	88	94	3.29
<i>Dichotomius bos</i> (Blanchard, 1846)	13	0	0	13	0.45

<i>Dichotomius</i> aff. <i>depressicollis</i> (Harold, 1867)	1	1	13	15	0.52
<i>Dichotomius lycas</i> (Felsche, 1901)	9	0	0	9	0.31
<i>Dichotomius</i> aff. <i>lucasi</i> 1 (Harold, 1869)	0	0	3	3	0.1
<i>Dichotomius</i> aff. <i>lucasi</i> 2 (Harold, 1869)	0	0	7	7	0.24
<i>Dichotomius nisus</i> (Olivier, 1789)	49	0	6	55	1.92
<i>Dichotomius opacipennis</i> (Luederwaldt, 1931)	5	0	7	12	0.42
<i>Dichotomius</i> aff. <i>puncticollis</i> (Luederwaldt, 1935)	0	0	4	4	0.14
<i>Dichotomius</i> sp.1*	1	3	58	62	2.17
<i>Dichotomius</i> sp.2*	0	0	128	128	4.48
<i>Eurysternus caribaeus</i> (Herbst, 1789)	0	30	116	146	5.11
<i>Eurysternus nigrovirens</i> (Génier, 2009)	1	13	26	40	1.4
<i>Ontherus appendiculatus</i> (Mannerheim, 1829)	10	1	0	11	0.38
<i>Ontherus azteca</i> (Harold, 1869)	0	1	0	1	0.03
<i>Ontherus sulcator</i> (Fabricius, 1775)	0	2	2	4	0.14
<i>Onthophagus hircus</i> (Billberg, 1815)	0	0	5	5	0.17
<i>Onthophagus</i> aff. <i>rubrescens</i> (Blanchard, 1846)	2	211	177	390	13.6
<i>Onthophagus ptox</i> (Erichson, 1847)	25	5	14	44	1.54
<i>Oxysternon conspicillatum</i> (Weber, 1801)	1	3	34	38	1.33
<i>Phanaeus bispinus</i> (Bates, 1868)	0	0	1	1	0.03
<i>Pseudocanthon xanthurus</i> (Blanchard, 1846)	10	0	0	10	0.35
<i>Sylvicanthon</i> sp	0	0	1	1	0.03
<i>Trichillum externepunctatum</i> (Preudhomme de Borre, 1880)	59	1	31	91	3.18
<i>Uroxys</i> sp.1*	12	1	3	16	0.56
<i>Uroxys</i> sp.2*	2	13	69	84	2.92
<i>Uroxys</i> sp.3*	0	3	5	8	0.28
Abundância	565	504	1.786	2.855	-
Abundância relativa (%)	19.8	17.7	62.5	100	-
Riqueza observada	39	23	51	62	-

Pastagem (PA), Floresta de Galeria (FG), Fragmento Florestal (FF) (*) Número conforme coleção de referência do Setor de Entomologia do Acervo Zoológico da Universidade Federal de Mato Grosso (CEMT) em Cuiabá – Mato Grosso.

Nas paisagens de Fragmento Florestal (FF), Pastagem (PA) e Floresta de Galeria (FG), ocorreram a presença de 18, 9 e 1, espécies exclusivas, respectivamente. Um total de 34 espécies foram compartilhadas entre os tratamentos, com 12 espécies entre (Pastagem + Fragmento florestal), uma espécie entre (Pastagem + Floresta de Galeria), quatro espécies entre (Fragmento florestal + Floresta de galeria), e 17 espécies entre os três tratamentos (Fig. 4).

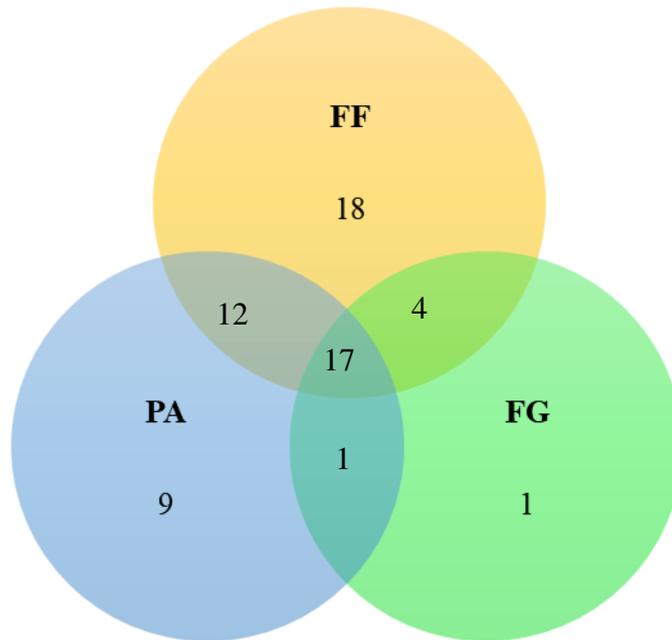


Fig. 4 Diagrama de Venn, com a distribuição das quantidades de espécies de besouros escarabeíneos coletados exclusivamente em fragmentos florestais (FF), pastagens (PA) e florestas de galeria (FG) e, também em ambas as paisagens que se encontram entre as intersecções do diagrama.

A abundância de escarabeíneos variou entre as paisagens ($F_{3,7} = 4.584$, $p < 0.05$) (Fig. 5). A abundância média de escarabeíneos foi significativamente maior em fragmento florestal (média $178,6 \pm 43,18$), diferindo dos demais ambientes ($p < 0.05$). Não houve diferença na abundância entre pastagem e floresta de galeria.

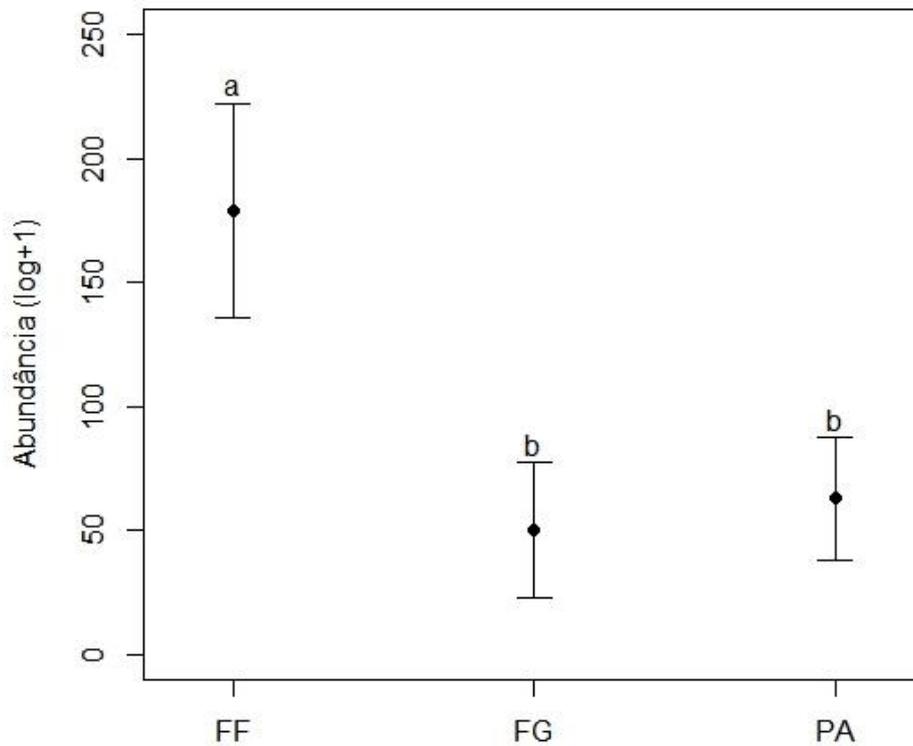


Fig. 5 Abundância de besouros escarabeíneos em função das paisagens: Fragmento Florestal (FF), Floresta de Galeria (FG) e Pastagem (PA) da Bacia Hidrográfica do Rio Lajeado, Maranhão, Brasil. Médias e erro padrão apresentados. *Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Riqueza de espécies

As curvas de rarefação e extrapolação baseadas em até o dobro do tamanho da amostra de referência obtidas para a riqueza de espécies de escarabeíneos ($q = 0$), indicaram que a riqueza no fragmento florestal e pastagem são semelhantes, sendo maior nessas duas paisagens, Fragmento Florestal, seguido de Pastagem, havendo sobreposição dos intervalos de confiança (áreas sombreadas com 95% intervalo de confiança). O ambiente de Floresta de Galeria (FG) foi o que apresentou menor riqueza de espécies (Fig. 6).

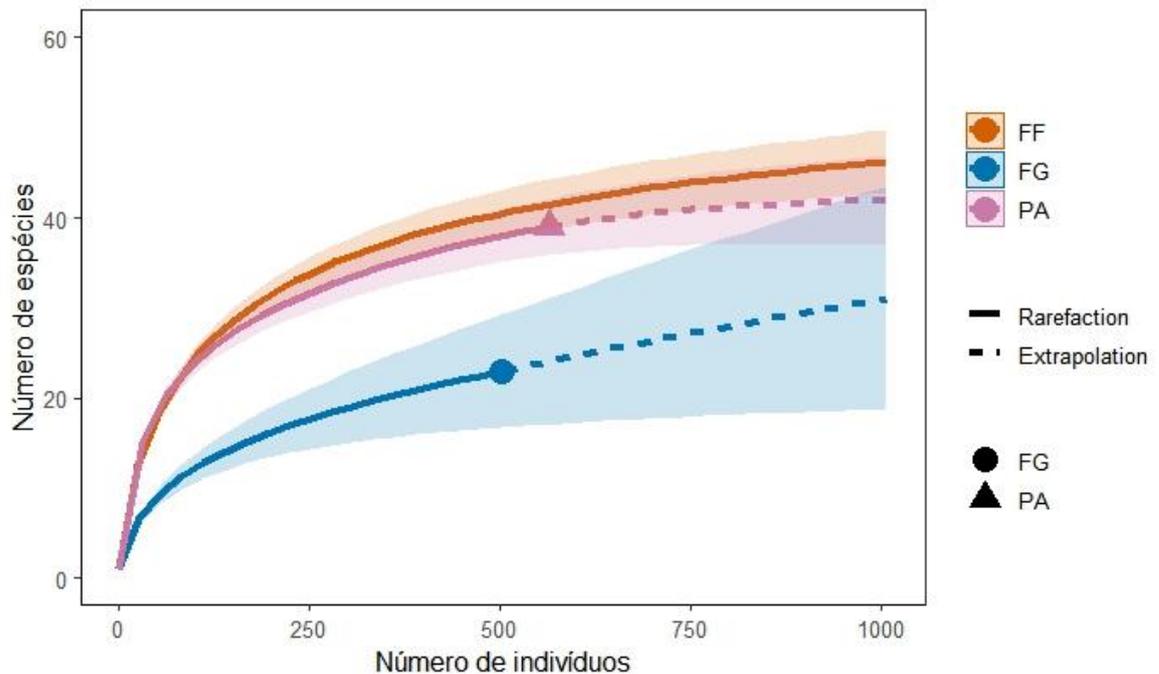


Fig. 6 Curvas de rarefação (linhas contínuas) e extrapolação (linhas tracejadas) para os números de Hill $q = 0$, representando o número das espécies de escarabeíneos coletados nas três paisagens: Fragmento Florestal (FF), Floresta de Galeria (FG) e Pastagem (PA) da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil. Os intervalos de confiança de 95% (área sombreada colorida que acompanha as linhas) foram obtidos através do método *Bootstrap*.

Na análise do estimador *Jackknife* de primeira ordem, a maior riqueza de espécies de escarabeíneos foi estimada para o Fragmento Florestal ($62,7 \pm 12,26$), que não apresentou diferença entre os valores estimados na pastagem ($50,6 \pm 12,18$). No entanto, floresta de galeria ($32,9 \pm 10,22$) foi a paisagem com menor riqueza estimada de espécies e diferiu estatisticamente dos valores estimados para as paisagens de fragmentos florestais e pastagens (Fig. 7).

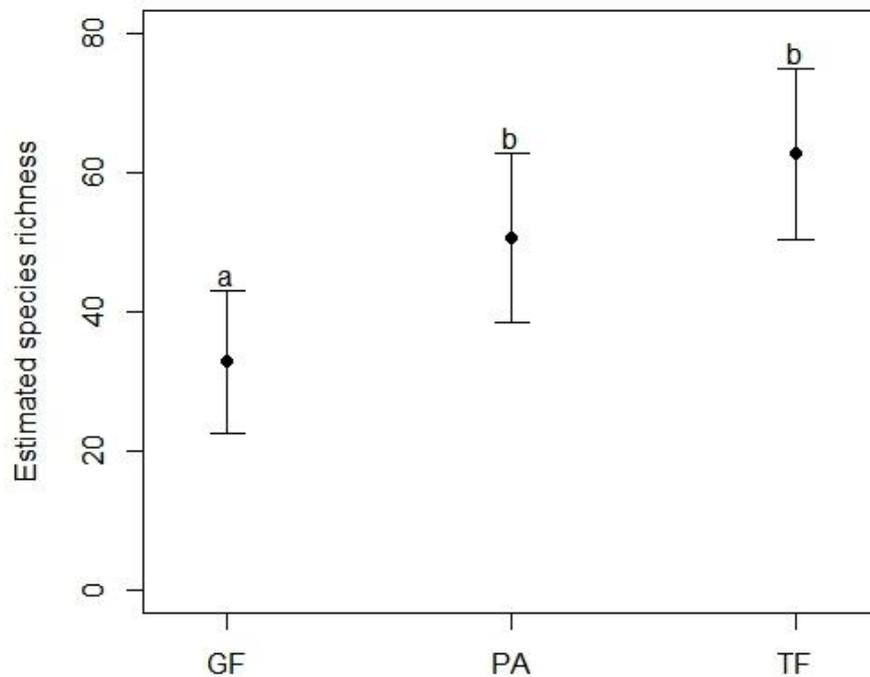


Fig. 7 Riqueza estimada de espécies (média \pm erro padrão) de escarabeíneos (*Jackknife 1*) em função das paisagens do estudo: Floresta de Galeria (GF), Pastagem (PA) e Fragmento Florestal (TF), da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil. Letras diferentes representam diferença entre os tratamentos pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Composição de espécies entre as paisagens da bacia hidrográfica do rio Lajeado

De acordo com a PCoA, a composição de escarabeíneos das áreas de pastagens é significativamente diferente das áreas de fragmentos florestais e florestas de galeria, houve a formação de dois grupos distintos, como mostrado pelo primeiro eixo da PCoA (17.2% da variação total de similaridade da comunidade) (Fig. 8). Esse resultado foi corroborado com a análise de significância PERMANOVA ($df=2$; $F= 3.4501$; $R^2= 0.20973$, $p<0.001$) (Tabela 2). Além disso, observou-se uma maior associação das espécies com as paisagens das áreas de pastagens e dos fragmentos florestais.

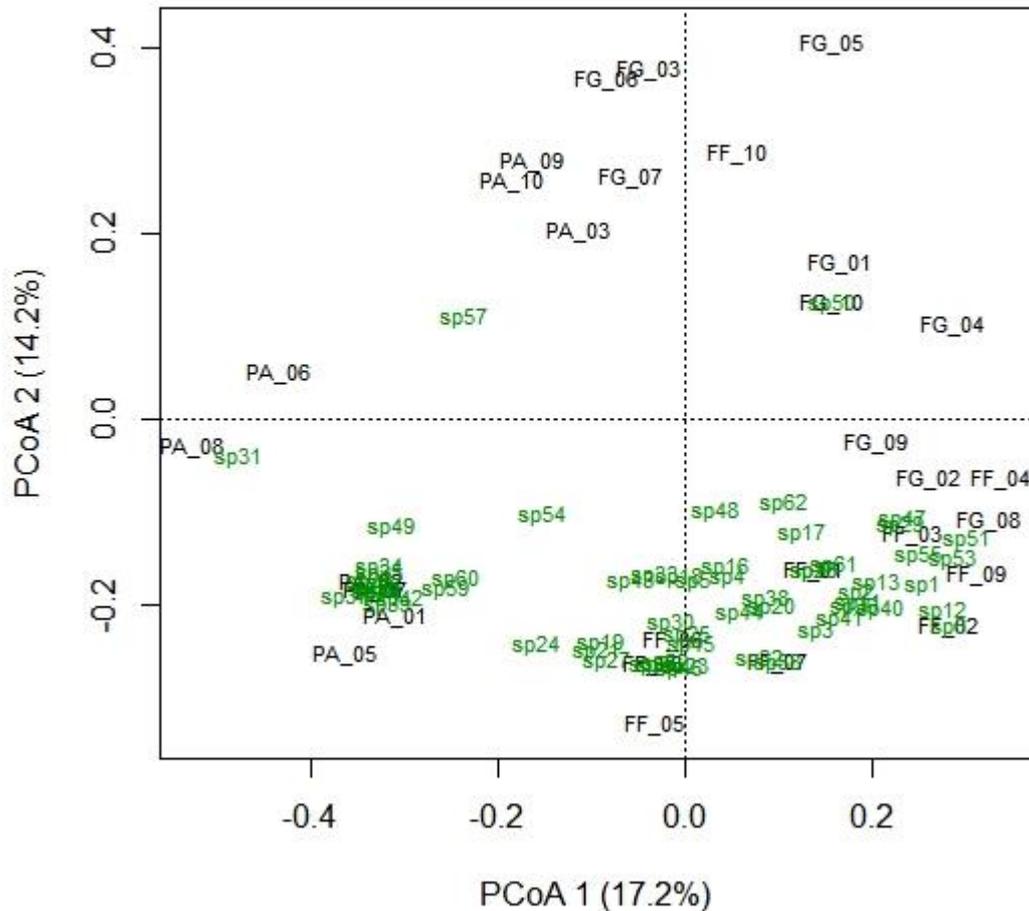


Fig. 8 Análise de Coordenadas Principais (PCoA) das assembleias de besouros escarabeíneos nas três paisagens: Pastagem (PA), Floresta de Galeria (FG) e Fragmento Florestal (FF) da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil.

Espécies: sp1-*Ateuchus* sp.1; sp2-*Ateuchus* sp.2; sp3-*Ateuchus* sp.3; sp4-*Ateuchus* sp.4; sp5-*Ateuchus* sp.5; sp6-*Ateuchus* sp.6; sp7-*Ateuchus* sp.7; sp8-*Besourenga* sp; sp9-*Canthidium* aff. *barbacenicum*; sp10-*Canthidium* aff. *impressum*; sp11-*Canthidium* sp.1; sp12-*Canthidium* sp.2; sp13-*Canthidium* sp.3; sp14-*Canthidium* sp.4; sp15-*Canthidium* sp.5; sp16-*Canthidium* sp.6; sp17-*Canthidium* sp.7; sp18-*Canthidium* sp.8; sp19-*Canthon conformis*; sp20-*Canthon histrio*; sp21-*Canthon lituratus*; sp22-*Canthon octodentatus*; sp23-*Canthon* aff. *machadoi*; sp24-*Canthon* aff. *piluliformis*; sp25-*Canthon* aff. *xanthopus*; sp26-*Canthon* sp.1; sp27-*Canthon* sp.2; sp28-*Canthonella* sp; sp29-*Coprophanaeus cyanescens*; sp30-*Coprophanaeus ensifer*; sp31-*Coprophanaeus magnoi*; sp32-*Deltochilum enceladus*; sp33-*Deltochilum pseudoicarus*; sp34-*Deltochilum* sp.1; sp35-*Deltochilum* sp.2; sp36-*Deltochilum* sp.3; sp37-*Dichotomius bos*; sp38-*Dichotomius* aff. *depressicollis*; sp39-*Dichotomius lycas*; sp40-*Dichotomius* aff. *lucasi* 1; sp41-*Dichotomius* aff. *lucasi* 2; sp42-*Dichotomius nisus*; sp43-*Dichotomius opacipennis*; sp44- *Dichotomius* aff. *puncticollis*; sp45-*Dichotomius* sp.1;

sp46-*Dichotomius* sp.2; sp47- *Eurysternus caribaeus*; sp48-*Eurysternus nigrovirens*; sp49-*Ontherus appendiculatus*; sp50-*Ontherus azteca*; sp51-*Ontherus sulcator*; sp52-*Onthophagus hircus*; sp53-*Onthophagus* aff. *rubescens*; sp54-*Onthophagus ptox*; sp55-*Oxysternon conspicillatum*; sp56-*Phanaeus bispinus*; sp57-*Pseudocanthon xanthurus*; sp58-*Sylvicanthon* sp; sp59-*Trichillum externepunctatum*; sp60-*Uroxys* sp.1; sp61-*Uroxys* sp.2; sp62-*Uroxys* sp.3.

Tabela 2 Resultado da Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA) e comparações múltiplas *a posteriori* da estrutura da comunidade de escarabeíneos coletados em três paisagens da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil.

Comparações pareadas	Scarabaeinae p-valor
Pastagem x Floresta de Galeria	0.0002
Pastagem x Fragmento Florestal	0.0001
Floresta de Galeria x Pastagem	0.0002
Floresta de Galeria x Fragmento Florestal	0.015
Fragmento Florestal x Pastagem	0.0001
Fragmento Florestal x Floresta de Galeria	0.015

Associação das espécies de Scarabaeinae com as diferentes paisagens

De acordo com o IndVal, duas espécies, *Canthon* aff. *xanthopus* (Blanchard, 1846) e *Deltochilum enceladus* (Kolbe, 1893) foram associadas aos fragmentos florestais. Seis espécies, *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886), *Canthon octodentatus* (Schmidt, 1920), *Coprophanaeus magnoi* (Arnaud, 2002), *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846), *Dichotomius nisus* (Olivier, 1789) e *Pseudocanthon xanthurus* (Blanchard, 1846) tiveram uma forte relação com as pastagens. E uma espécie, *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) foi associada aos ambientes de Fragmentos florestais e florestas de galeria respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 Valor individual de indicação (IndVal) das espécies de escarabeíneos amostradas em Fragmentos florestais (FF), Pastagem (PA) e Floresta de Galeria (FG), da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil.

Espécies	IndVal	p	Ambientes
<i>Canthidium</i> aff. <i>barbacenicum</i> (Preudhomme de Borre, 1886)	0.862	0.0008	PA
<i>Canthon</i> aff. <i>xanthopus</i> (Blanchard, 1846)	0.686	0.024	FF
<i>Canthon octodentatus</i> (Schmidt, 1920)	0.791	0.0008	PA
<i>Coprophanaeus magnoi</i> (Arnaud, 2002)	0.612	0.016	PA
<i>Deltochilum enceladus</i> (Kolbe, 1893)	0.707	0.005	FF
<i>Dichotomius bos</i> (Blanchard, 1846)	0.707	0.004	PA
<i>Dichotomius nisus</i> (Olivier, 1789)	0.826	0.0008	PA
<i>Eurysternus caribaesus</i> (Herbst, 1789)	0.837	0.007	FF + FG
<i>Pseudocanthon xanthurus</i> (Blanchard, 1846)	0.612	0.019	PA

Discussão

As hipóteses de que a riqueza e composição de escarabeíneos variam em função do tipo de paisagem da área, foi corroborada. No entanto, a hipótese de que ambientes com estrutura vegetal mais complexa abrigam maior abundância e riqueza de espécies foi apenas parcialmente confirmada, pois nossos resultados, destacam o ambiente de pastagem (menos complexo) com riqueza de escarabeíneos maior que floresta de galeria e com abundância similar às áreas de floresta de galeria. A relação de maior riqueza de espécies em locais com menor heterogeneidade ambiental, foi relatada em estudos com os mesmos tipos de paisagens em diferentes áreas do Cerrado brasileiro (Milhomem et al. 2003; Endres et al. 2007; Silva et al. 2021). Ademais, as pastagens inseridas em área de formação aberta como Cerrado, apresentam espécies adaptadas que são capazes de utilizar esse ambiente como habitat e as fezes bovinas como recurso, que promove assim menor perda de espécies nesses locais (Almeida et al. 2011; Rodrigues et al. 2013).

Destacamos que nossos resultados não corroboram totalmente a hipótese da heterogeneidade ambiental, a qual afirma que o aumento na heterogeneidade dos ambientes, disponibilizaria mais recursos, ocasionando um maior número de nichos ecológicos e heterogeneidade estrutural, o que resulta em uma maior diversidade de espécies, quando comparado a ambientes mais simplificados (Macarthur e Macarthur 1961).

Para o cerrado brasileiro, alguns trabalhos relacionam de forma negativa o aumento da heterogeneidade ambiental com o aumento da riqueza de espécies de escarabeíneos (Correa et al. 2019; Silva et al. 2021), o que pode ser observado em nosso estudo, onde as áreas com maior heterogeneidade (floresta de galeria), apresentaram as

menores riquezas e as com a menor heterogeneidade (pastagem), apresentaram maiores riquezas. Silva et al. (2021), compararam as comunidades de escarabeíneos em formações de savana e floresta de galeria no Parque Estadual da Serra Azul, Mato Grosso, e mostraram que a menor heterogeneidade em habitats de savana típica e aberta, obteve maiores riquezas de espécies do que na floresta de galeria (com maior heterogeneidade), mais um fato que poderia explicar nossos resultados.

A riqueza estimada das espécies foi maior nos ambientes de fragmentos florestais e pastagens. Em contraste, a floresta de galeria foi o ambiente que apresentou menor riqueza estimada. Esperava-se que os fragmentos e as florestas de galeria, por serem heterogêneos e considerados mais conservados, abrigassem uma comunidade de escarabeíneos mais rica, uma vez que tais habitats supostamente abrigam uma comunidade diversificada de mamíferos provedores de recursos (Scholtz et al. 2009; Filgueiras et al. 2011). A menor riqueza nas áreas de floresta de galeria, pode ser explicada devido esses ambientes serem menores (Milhomem et al. 2003) e restritos às bordas dos rios (Vieira e Silva 2012). Provavelmente, devido à ação antrópica, as áreas de florestas de galeria estejam passando por intensas alterações ambientais. Os impactos do uso da terra afetam negativamente diversas espécies, incluindo os besouros escarabeíneos, portanto, quanto mais intenso o uso da terra em uma região, menores são as diversidades encontradas (Gardner et al. 2008; Frizzas et al. 2020).

Em relação a abundância de besouros, observou-se que as áreas dos fragmentos florestais apresentaram as maiores médias, em comparação com os demais ambientes, enquanto que a pastagem e a floresta de galeria apresentaram abundâncias semelhantes. Um fator importante associado à alta abundância de escarabeíneos em fragmentos florestais decorre do fato de que esses ambientes apresentam uma tendência a suportar uma maior abundância e diversidade de mamíferos que podem fornecer esterco e fontes de recursos disponíveis para os escarabeíneos (Salomão e Iannuzzi 2015). Além disso, por se tratar de uma paisagem heterogênea, as espécies com maior distribuição geográfica podem ser abundantes nesse ecossistema que contribui para a manutenção da assembleia dos besouros escarabeíneos (Davis et al. 2000; Andresen e Laurence 2007).

As análises de composição que mostraram dissimilaridade na composição de espécies entre as áreas de fragmentos florestais e florestas de galeria com as pastagens era esperada. As pastagens apresentaram nove espécies exclusivas (23,07%): sendo que grande parte dessas espécies, tais como: *Canthidium* aff. *impressum* (Boucomont, 1928), *Coprophanaeus magnoi* (Arnaud, 2002), *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846), *Dichotomius*

lycas (Felsche, 1901) e *Pseudocanthon xanthurus* (Blanchard, 1846), apresentam distribuição para áreas abertas no Cerrado (De Almeida e Louzada 2009; Edmonds e Zídek 2010; Almeida et al. 2011; Silva et al. 2021). *Canthon octodentatus* (Schmidt, 1920) que também foi exclusiva da pastagem, é uma espécie que tem influência amazônica, mas que ocorre em áreas abertas como as pastagens no Cerrado (Correa et al. 2022). Já a espécie *Beusorenga* sp, é registrada com ocorrência somente em áreas de Cerrado *sensu stricto* (Da Silva et al. 2010). As espécies *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846) e *Dichotomius lycas* (Felsche, 1901), são especialistas de áreas abertas, geralmente encontradas em pastagens (Louzada e Silva 2009), e estão associadas a fezes de gado (Mendes e Linhares 2006).

Por outro lado, a ocorrência de *Dichotomius* aff. *lucasi* (Harold, 1869) nas áreas dos fragmentos florestais mostra que essa espécie ocorre com exclusividade nesses ambientes mais fechados, pois há vários registros em outros trabalhos que evidenciaram sua distribuição em ecossistemas mais heterogêneos e fechados (Spector e Ayzama 2003; Scheffler, 2005; Da Silva et al. 2010). Do mesmo modo, a distribuição de *Deltochilum enceladus* (Kolbe, 1893) somente em fragmentos, enfatiza a importância da conservação dos ambientes de ocorrência dessa espécie (Silva et al. 2017), haja vista que essa espécie ocorre com menos frequência em ambientes mais abertos (Spector e Ayzama 2003), o que não foi observado em nosso estudo. Ademais, essa espécie encontrada em fragmentos florestais também tende a ter influência amazônica (Genier 2012; Vaz-de-Mello et al. 2017), devido parte das áreas do nosso estudo estarem nas proximidades de vegetação de transição (ecótono) Cerrado-Amazônia.

Ademais, os resultados do (IndVal), sustentaram a hipótese testada, de que existem espécies que apresentam forte associação com as diferentes paisagens da bacia do Lajeado. Existem espécies indicadoras para todas as paisagens do presente estudo. *Canthon* aff. *xanthopus* (Blanchard, 1846) foi associado aos fragmentos florestais. Este escarabeíneo também foi encontrado em outros fragmentos florestais do Brasil (De Moura et al., 2021), e é considerada uma espécie nativa com ampla distribuição geográfica. *Deltochilum enceladus* (Kolbe, 1893) também se associou ao ambiente de fragmento florestal, assim como no trabalho de Novaes et al., (2016). As duas espécies associadas aos fragmentos são classificadas com roladores, sendo assim, proporcionam importantes serviços de remoção de massas fecais para longe do recurso, enterrando-as posteriormente (Halfpter e Matthews 1966; Bornemissza 1969).

Por outro lado, para o ambiente de pastagem se associaram as espécies: *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886), que possui grande capacidade

de adaptação e já foi registrada em pastagens e ambientes degradados, nas áreas de Cerrado e Chaco (Almeida et al. 2011; Tissiani et al. 2017). *Canthon octodentatus* (Schmidt, 1920) e *Coprophanaeus magnoi* (Arnaud, 2002), também já foram relatadas como indicadores de pastagens e de áreas abertas do Cerrado (Edmonds e Zidek 2010; Correia et al. 2022). *Pseudocanthon xanthurus* (Blanchard, 1846), espécie comumente associada em pastagens (Korasaki et al., 2013). Por fim, as espécies *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846) e *Dichotomius nisus* (Olivier, 1789), que são altamente especializadas em ambientes abertos (Rodrigues et al. 2010; Oliveira et al. 2021) e desempenham importantes papéis no sistema pecuário (Louzada e Silva 2009), pois participam da ciclagem de nutrientes (Halffter e Matthews 1966), e ajudam no aumento da velocidade de decomposição das fezes do gado, pois são escavadores e contribuem para o controle biológico natural das áreas de pastagem (Nichols et al. 2008).

As espécies *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846) e *Dichotomius nisus* (Olivier, 1789) conseguem habitar áreas de menor complexidade ambiental como as pastagens e se adaptar às condições ambientais que não são favoráveis a outras espécies (Louzada e Silva 2009; Korasaki et al. 2013; Correa et al. 2022). Portanto, são capazes de persistir em paisagens modificadas pelo homem se houver tempo suficiente e se os habitats introduzidos conservarem alguma semelhança estrutural com os naturais (Costa et al. 2017).

De todas as espécies indicadoras do presente estudo, somente *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) teve forte associação as áreas de fragmentos florestais e florestas de galeria respectivamente, sendo considerada uma espécie positivamente associada a ecossistemas florestais (Feer 2008; Bicknell et al. 2014). Porém, essa espécie também já foi relatada como indicadora de habitats perturbados (Avendano-Mendoza et al. 2005), o que não foi observado em nosso trabalho.

A ocorrência de muitas espécies exclusivas para cada tipo das paisagens nesse estudo pode ser interpretada como uma associação de fidelidade das espécies com o padrão específico da paisagem (De Almeida e Louzada 2009). Essas espécies constantemente dependem de recursos de outros grupos faunísticos, como esterco de vertebrados, que também podem ser afetadas pela perturbação da paisagem muitas vezes ocasionada por ação antropogênica (Korasaki et al. 2013; Mestre et al. 2013). A distribuição dos escarabeíneos também pode variar dependendo de fatores bióticos e abióticos, como o clima (Korasaki et al. 2013) e disponibilidade de recursos (Sanchez-Piñero 1997).

Nossos resultados podem servir como base para um levantamento de novas hipóteses em relação à diversidade de besouros na bacia do rio Lajeado, com foco comparativo entre áreas do Cerrado com diferentes níveis de conservação/degradação. É importante que pesquisas mais abrangentes, e de longo prazo, sejam desenvolvidas nestas regiões, com um número maior de amostras e adição de novas áreas de usos da terra uma vez que nossas estimativas de riqueza sugerem a existência de mais espécies nas paisagens. Se tais estudos forem realizados nesse sentido e confirmarem os resultados obtidos nesta pesquisa, teremos fortes evidências de que impactos ambientais de proporções preocupantes podem estar causando um empobrecimento das comunidades de besouros escarabeíneos nestas regiões e, conseqüentemente, uma considerável perda de biodiversidade nas paisagens da região do Nordeste, inseridas dentro do contexto do Cerrado brasileiro.

Além disso, constatamos que a região da bacia hidrográfica do rio Lajeado, possui elevada riqueza de espécies de besouros escarabeíneos nas paisagens de fragmentos florestais e pastagens. No entanto, paisagem formada por florestas de galeria, apresentam uma diminuição na riqueza de espécies ao longo do gradiente de perturbação do hábitat em áreas do Cerrado. Isto sugere, que a comunidade de besouros é influenciada pelas mudanças de uso da terra.

A composição de espécies das paisagens dos fragmentos florestais e florestas de galeria apresentou dissimilaridade em relação as áreas de pastagens, o que demonstra a existência de espécies com grande fidelidade de habitat na região.

O padrão observado pelas espécies analisadas pelo IndVal mostra a ocorrência das espécies em todos os ecossistemas estudados, com maior número de espécies associadas ao ambiente de pastagem. Um fator importante, tendo em vista que mesmo ambientes perturbados podem contribuir para a preservação das espécies exclusivas na região.

Referências

- Almeida S, Louzada J, Sperber C, Barlow J (2011) Subtle land-use change and tropical biodiversity: dung beetle communities in Cerrado grasslands and exotic pastures. *Biotropica* 43:704-710. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00751.x>
- Andresen E, Laurance SG (2007) Possible indirect effects of mammal hunting on dung beetle assemblages in Panama. *Biotropica* 39(1):141-146. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00239.x>

- Avendaño-Mendoza C, Morón-ríos A, Cano EB, León-cortés J (2005) Dung beetle community (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in a tropical landscape at the Lachua Region, Guatemala. *Biodiversity and Conservation* 14(4): 801-822. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-0651-x>
- Batista MC, Lopes GDS, Marques LJP, Teodoro AV (2016). The dung beetle assemblage (Coleoptera: Scarabaeinae) is differently affected by land use and seasonality in northeastern Brazil. *Entomotropica* 31(13):95-104
- Bicknell JE, Phelps SP, Davies RG, Mann DJ, Struebig MJ, Davies ZG (2014) Dung beetles as indicators for rapid impact assessments: Evaluating best practice forestry in the neotropics. *Ecol Indic* 43:154-161. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.030>
- Bougeard S, Dray S (2018) Supervised multiblock analysis in R with the ade4 package. *J statistic softwar* 86:1-17
- Bornemissza GF (1969) A new type of brood care observed in the dung beetle *Oniticellus cinctus* (Scarabaeidae). *Pedobiologia*, 9: 223-225
- Chao A, Gotelli NJ, Hsieh TC, Sander EL, Ma KH, Colwell RK, Ellison AM (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol Monogr*. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- Chen H (2022) VennDiagram: Generate High-Resolution Venn and Euler Plots_. R package version 1.7.3. Disponível: <https://CRAN.R-project.org/package=VennDiagram>
- Colwell RK; Mao CX; Chang J (2004) Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology* 85: 2717-2727
- Colwell RK (2013) Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.0. University of Connecticut: USA. Disponível em: <https://www.robertkcolwell.org/pages/1407-estimates>
- Correa C, Braga RF, Puker A, Korasaki V (2019) Patterns of taxonomic and functional diversity of dung beetles in a human-modified variegated landscape in Brazilian Cerrado. *J Insect Conserv* 23(1):89-99. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-00118-6>
- Correa CM, Ferreira KR, Abot AR, Louzada J, Vaz-de-Mello FZ (2022) Ivermectin impacts on dung beetle diversity and their ecological functions in two distinct Brazilian ecosystems. *Ecol Entomol* 47(5):736-748. <https://doi.org/10.1111/een.13158>
- Costa C, Oliveira, VHF, Maciel R, Beiroz W, KorasakinV, Louzada J (2017) Variegated tropical landscapes conserve diverse dung beetle communities. *PeerJ* 5, e3125. <https://doi.org/10.7717/peerj.3125>
- Davis AJ, Huijbregts H, Krikken J (2000) The role of local and regional processes in shaping dung beetle communities in tropical forest plantations in Borneo. *Glob Ecol Biogeogr* 9:281–292. doi: 10.1046/j.1365-2699.2000.00189.x

- Da Silva RJ, Diniz S, Vaz-de-Mello FZ (2010) Heterogeneidade do habitat, riqueza e estrutura da assembléia de besouros rola-bostas (Scarabaeidae: Scarabaeinae) em áreas de cerrado na Chapada dos Parecis, MT. *Neotrop Entomol* 39:934-940. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000600014>
- De Almeida SDS, Louzada JN (2009) Estrutura da comunidade de Scarabaeinae (Scarabaeidae: Coleoptera) em fitofisionomias do Cerrado e sua importância para a conservação. *Neotrop Entomol* 38:32-43. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000100003>
- De Cáceres MD, Legendre P (2009) Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90(12):3566-3574. <https://doi.org/10.1890/08-1823.1>
- De Moura RS, Noriega JA, Cerboncini RAS, Vaz-de-Mello FZ, Junior LK (2021) Dung beetles in a tight-spot, but not so much: Quick recovery of dung beetles assemblages after low-impact selective logging in Central Brazilian Amazon. *For Ecol Manag* 494, 119301. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119301>
- Dos Santos GL et al (2021) Degradation of the Brazilian Cerrado: Interactions with human disturbance and environmental variables. *For Ecol Manage*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118875>
- Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67:345–366
- Duguma LA, Atela J, Minang PA, Ayana AN, Gizachew B, Nzyoka JM, Bernard F (2019) Deforestation and forest degradation as an environmental behavior: unpacking realities shaping community actions. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land8020026>
- Edmonds WD, Zídek J (2010) A taxonomic review of the neotropical genus *Coprophanæus* Olsoufieff, 1924 (Coleoptera: Scarabaeidae, Scarabaeinae). *Insecta Mundi* 1-111
- Edwards DP et al (2014) Selective-logging and oil palm: Multitaxon impacts, biodiversity indicators, and trade-offs for conservation planning. *Ecol Appl* 24(8):2029-2049. <https://doi.org/10.1890/14-0010.1>
- Endres AA, Creão-Duarte AJ, Hernández MIM (2007) Diversidade de Scarabaeidae s. str.(Coleoptera) da Reserva Biológica Guaribas, Mamanguape, Paraíba, Brasil: uma comparação entre Mata Atlântica e Tabuleiro Nordeste. *Rev Brasi Entomol* 51:67-71. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262007000100012>
- Escobar F, Halffter G, Arellano L (2007) From forest to pasture: an evaluation of the influence of environment and biogeography on the structure of beetle (Scarabaeinae) assemblages along three altitudinal gradients in the Neotropical region. *Ecography* 30(2):193-208. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2007.04818.x>
- Feer F (2008) Responses of dung beetle assemblages to characteristics of rain forest edges. *Ecotropica* 14:49-62

- Filgueiras BK, Iannuzzi L, Leal IR (2011) Habitat fragmentation alters the structure of dung beetle communities in the Atlantic Forest. *Biol Conserv* 144(1):362-369. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.013>
- Frizzas, M R et al (2020) Diversity of Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) in an urban fragment of Cerrado in Central Brazil. *Eur. J. Entomol* 117:273-281. <https://doi.org/10.14411/eje.2020.031>
- Gardner TA, Hernández MI, Barlow J, Peres CA (2008) Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. *J Appl Ecol* 45(3):883-893. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01454.x>
- Genier F (2012) A new species and notes on the subgenus *Deltochilum* (*Deltochilum*) Eschscholtz, 1822 (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae: Deltochilini). *Zootaxa* 3357(1):25-36
- Halfpter G, Matthews EG (1966) The Natural History of Dung Beetles of the Subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). *Fol Entomol Mex* 12:1-312
- Hernández MIM et al (2019) Ecological characteristics of Atlantic Forest dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in the state of Santa Catarina, southern Brazil. *Coleopt Bull.* <https://doi.org/10.1649/0010-065X-73.3.693>
- Hsieh TC, Ma KH, Chao A, Hsieh MT (2016) Package ‘iNEXT’ Disponível: <http://chao.stat.nthu.edu.tw/blog/software-download/>. Acessado em 28 de setembro de 2022
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2022) Disponível: <http://www.inmet.gov.br>. Acessado em 20 de novembro de 2022
- Korasaki V, Braga RF, Zanetti R, Moreira F, Vaz-de-Mello FZ, Louzada J (2013) Conservation value of alternative land-use systems for dung beetles in Amazon: valuing traditional farming practices. *Biodivers Conserv* 22(6):1485-1499. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0487-3>
- Legendre P, Legendre L (1998) *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier
- Lima CES, Da Silva MVM, Rocha SMG, Silveira CDS (2022) Anthropic Changes in Land Use and Land Cover and Their Impacts on the Hydrological Variables of the São Francisco River Basin, Brazil. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su141912176>
- Lima MGA, De Almeida Silva RP, De Sousa MDF, Costa EM (2013) Diversidade de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) no Parque Botânico do Ceará, Caucaia-CE, Brasil. *Revista Agro@mbiente On-line*. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i1.970>
- Louzada JN, Silva PRC (2009) Utilisation of introduced Brazilian pastures ecosystems by native dung beetles: diversity patterns and resource use. *Insect Conserv Divers* 2(1):45-52. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2008.00038.x>

- MacArthur RH, MacArthur JW (1961) On bird species diversity. *Ecolog* 42:594-598
- Macedo R, Audino LD, Korasaki V, Louzada J (2020) Conversion of Cerrado savannas into exotic pastures: the relative importance of vegetation and food resources for dung beetle assemblages. *Agric Ecosyst Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106709>
- Marchiori CH (2016) Técnicas de coleta e captura de insetos das ordens diptera e hymenoptera coletadas no estado de goiás. *Biológico* 78:1-5
- Mendes J, Linhares AX (2006) Coleoptera associated with undisturbed cow pats in pastures in Southeastern Brazil. *Neotrop Entomol* 35:715-723. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000600001>
- Mestre LA, Cochrane MA, Barlow J (2013) Long-term changes in bird communities after wildfires in the central Brazilian Amazon. *Biotropica*, 45(4): 480-488. <https://doi.org/10.1111/btp.12026>
- Milhomem MS, Mello FZVD, Diniz IR (2003) Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. *Pesqui Agropecu Bras* 38:1249-1256
- Negro M, Palestini C, Giraudo MT, Rolando A (2011) The effect of local environmental heterogeneity on species diversity of alpine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae). *Eur J Entomol* 108:91–98
- Nichols E, Spector S, Louzada J, Larsen T, Amezquita S, Favila ME, Network TSR (2008) Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol Conserv* 141(6):1461-1474. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>
- Novais S, Evangelista LA, Reis-Júnior R, Neves FS (2016) How does dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) diversity vary along a rainy season in a tropical dry forest?. *J. Insect Sci* 16(1). <https://doi.org/10.1093/jisesa/iew069>
- Oksanen FJ et al (2020) *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-2. Disponível: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira YF, Oliveira CM, Frizzas MR (2021) Changes in land use affect dung beetle communities but do not affect ecosystem services in the Cerrado of Central Brazil. *Ecol Entomol* 46(4):973-987. <https://doi.org/10.1111/een.13034>
- Prestes RM, Vincenci KL (2019) Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 2(4):1473-1493
- Queiroz da Costa CM, Barbosa Silva FA, Isidro de Farias A, De Cassia de Moura R (2009) Diversidade de Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) coletados com armadilha de interceptação de vôo no Refúgio Ecológico Charles Darwin, Igarassu-PE, Brasil. *Rev Bras Entomol* 53(1):88-94. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262009000100021>
- R Core Team (2021) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

- Rodrigues AA et al (2022) Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. *Glob Chang Biol*. <https://doi.org/10.1111/gcb.16386>
- Rodrigues SR, Barros ATMD, Puker A, Taira TL (2010) Diversidade de besouros coprófagos (Coleoptera, Scarabaeidae) coletados com armadilha de interceptação de voo no Pantanal Sul-Mato-Grossense, Brasil. *Biota Neotrop* 10:123-127. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000200015>
- Rodrigues MM, Uchoa MA, Ide S (2013) Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeoidea) in three landscapes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Braz J Biol* 73:211-220. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000100023>
- Rosenlew H, Roslin T (2008) Habitat fragmentation and the functional efficiency of temperate dung beetles. *Oikos* 117(11): 1659-1666. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.16904.x>
- Salomão RP, Iannuzzi L (2015) Dung beetle (Coleoptera, Scarabaeidae) assemblage of a highly fragmented landscape of Atlantic forest: from small to the largest fragments of northeastern Brazilian region. *Rev Bras Entomol* 59:126-137. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2015.03.008>
- Sanchez-Piñero F (1997) Analysis of spatial and seasonal variability of carrion beetle (Coleoptera) assemblages in two arid zones of Spain. *Environ. Entomol* 26(4): 805-814
- Sarkar D (2008) *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. Springer Science Business Media. 978-0-387-75968-5
- Scheffler PY (2005) Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) diversity and community structure across three disturbance regimes in eastern Amazonia. *J Trop Ecol* 21(1): 9-19. <https://doi.org/10.1017/S0266467404001683>
- Scholtz CH, Davis ALV, Kryger U (2009) *Evolutionary Biology and Conservation of Dung Beetles*. Pensoft 289-412
- Silva JLD, Silva RJD, Fernandes IM, Sousa WOD, Vaz-de-Mello FZ (2021) Species composition and community structure of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) compared among savanna and forest formations in the southwestern Brazilian Cerrado. *Zoologia (Curitiba)*. <https://doi.org/10.3897/zoologia.37.e58960>
- Silva RJ, Pelissari TD, Krinski D, Canale G, Vaz-de-Mello FZ (2017) Abrupt species loss of the Amazonian dung beetle in pastures adjacent to species-rich forests. *J Insect Conserv* 21:487-494. <https://doi.org/10.1007/s10841-017-9988-9>
- Simpson GL (2019) *permute: Functions for Generating Restricted Permutations of Data*. R package version 0.9-5

- Spector S, Ayzama S (2003) Rapid Turnover and Edge Effects in Dung Beetle Assemblages (Scarabaeidae) at a Bolivian Neotropical Forest-Savanna Ecotone. *Biotropica* 35(3):394-404. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00593.x>
- Stein A, Gerstner K, Kreft H (2014) Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecol Lett.* <https://doi.org/10.1111/ele.12277>
- Tissiani ASDO, Vaz-de-Mello FZ, Campelo-Júnior JH (2017) Besouros rola-bostas das pastagens brasileiras e chave para identificação dos gêneros (Coleoptera: Scarabaeidae). *Pesqui Agropecu Bras* 52:401-418. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000600004>
- Van Schalkwyk J, Pryke JS, Samways MJ (2017) Wide corridors with much environmental heterogeneity best conserve high dung beetle and ant diversity. *Biodivers Conserv* 26(5):1243-1256. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1299-7>
- Vaz-de-Mello FZ, Bavutti LLO, Flechtmann CAH, Puker A, Correa CMA (2017) Lista de espécies dos Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 107: e2017120. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2017120>
- Vaz-de-Mello FZ, Edmonds WD, Ocampo FC, Schoolmeesters P (2011) A multilingual key to the genera and subgenera of the subfamily Scarabaeinae of the New World (Coleoptera: Scarabaeidae). *Zootaxa.* <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2854.1.1>
- Venables WN, Ripley BD (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York
- Vieira L, Silva FAB (2012) Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) of the Floresta Nacional Contendas do Sincorá, Bahia, Brazil. *Check List* 8(4):733-739. <https://doi.org/10.15560/8.4.733>
- Wood SN (2017) Generalized additive models: An introduction with R 2 An Introduction with R. *Generalized Additive Models* 10: 9781315370279
- Zhang X, Chen L, Liu G, Yu Y, Ma Y, Shen Z (2021) Unexpected river water quality deterioration due to stormwater management in an urbanizing watershed. *Water Resour Res.* <https://doi.org/10.1029/2021WR030181>

CAPÍTULO II

Associação de escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae) às diferentes paisagens do Cerrado na bacia do rio Lajeado, Nordeste do Brasil

Capítulo elaborado de acordo com as normas do periódico *Biotropica*

Capítulo II. Associação de escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae) às diferentes paisagens do Cerrado na bacia do rio Lajeado, Nordeste do Brasil

Resumo

O Cerrado brasileiro é considerado um dos *hotspots* de biodiversidade do mundo, e atualmente está com alta fragmentação e perturbação do habitat devido a ação antrópica. Como resultado da fragmentação do habitat ocorrem variações das condições ambientais que podem influenciar a distribuição das espécies. Besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae) compreendem várias espécies que são consideradas bioindicadores eficazes e têm sido utilizados para monitoramento de mudanças ambientais. Neste estudo identificamos quais espécies de escarabeíneos são influenciadas pelas variáveis ambientais e associadas às diferentes paisagens (Pastagem, Floresta de Galeria e Fragmento de Floresta) da bacia do rio Lajeado, Maranhão. A amostragem foi realizada em 30 áreas (10 de cada uma das três paisagens) localizadas nos municípios de São João do Paraíso, Porto Franco, Lajeado Novo, Campestre do Maranhão e Ribamar Fiquene, Maranhão, Brasil. Coletamos 2.855 escarabeíneos pertencentes a 17 gêneros e 62 espécies. Nossa hipótese de que as espécies são influenciadas por fatores ambientais foi corroborada. A espécie *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886) foi associada ao ambiente de pastagem onde mantém uma forte relação com abertura de dossel. *Canthon conformis* (Harold, 1868) foi associada aos fragmentos florestais onde mantém forte relação com temperatura. *Eurysternus nigrovirens* (Génier, 2009) apresentou correlação com serrapilheira e altura da vegetação nas áreas de floresta de galeria e fragmento florestal. *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) foi relacionada com número de plantas nos fragmentos florestais. *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) e *Onthophagus* aff. *rubrescens* (Blanchard, 1846) foi relacionada com a umidade dos fragmentos florestais e florestas de galeria. Nossos resultados fornecem evidências de que existem associações significativas entre as espécies de besouros e a estrutura ambiental das diferentes paisagens. Isso reforça a importância da conservação das diferentes áreas, para manutenção e preservação da biodiversidade de escarabeofauna na região.

Palavras-chave: Espécies indicadoras, Heterogeneidade ambiental, Conservação, Scarabaeidae, Cerrado brasileiro.

1 INTRODUÇÃO

As atividades urbanas e agrícolas têm provocado alterações na qualidade e quantidade dos recursos hídricos, atingindo ecossistemas florestais adjacentes às bacias hidrográficas de grande relevância para a conservação de espécies (Pishyar et al., 2018). Na

região sul do estado do Maranhão o aumento da fronteira agrícola causa pressão sobre a água, solo e florestas de galeria do bioma Cerrado (Dick et al., 2021). Desta forma, as florestas de galeria geralmente são os primeiros ambientes a sofrerem degradação pelo estabelecimento do homem, e isso ocorre principalmente pela impressão de que essas áreas apresentam solo mais ricos em nutrientes e também devido a possibilidade de irrigação (González et al., 2021).

Diversas espécies de organismos, particularmente insetos que vivem e interagem em ecossistemas adjacentes a recursos hídricos são constantemente afetados através da degradação provocada pelo homem (Goulson, 2019; Heino, 2009). A destruição de ambientes naturais ocasionada pela ação antrópica pode inclusive resultar em uma mudança na composição e estrutura das comunidades (Barlow et al., 2007). Fato preocupante, pois as características ambientais de uma região como cobertura vegetal, variação da temperatura e solo são fatores relevantes para associação ou não de algumas espécies de insetos com ambientes distintos (Hernández et al., 2019). A variação da paisagem fornece diferentes recursos que ajudam na sobrevivência e nidificação de certas espécies de insetos (Liu et al., 2014; Salomão et al., 2019).

Os besouros escarabeíneos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) têm sido utilizados como potenciais ferramentas para indicação de impactos e monitoramento ambiental (Cajaiba et al., 2017; Giménez Gómez et al., 2022; Favila e Halffter, 1997) e indicadores de biodiversidade em ecossistemas florestais (Halffter, 1991; Halffter e Favila, 1993; Halffter e Matthews, 1966). Pois esses insetos são sensíveis a alterações ambientais, sendo rapidamente afetados quando ocorre algum tipo de modificação ou fragmentação de ambiente (Bugoni et al., 2017). E apresentam grande diversidade em regiões tropicais com representatividade importante para a parte da biodiversidade (Hanski e Cambefort, 1991).

Diferentes habitats com fatores climáticos distintos, como temperatura e umidade, podem influenciar a distribuição de escarabeíneos (De Almeida e Louzada, 2009; Duque-Vélez et al., 2022; Neves et al., 2010). Ambientes fechados com maior cobertura vegetal reduz a entrada de radiação solar no solo, diminuindo a temperatura e conservando mais umidade do que ambientes abertos (Outhwaite et al., 2022). Em escarabeíneos essas variáveis ambientais podem mediar as atividades de forrageamento e auxiliar em seus nichos ecológicos (Medina e Lopez, 2014).

Outro fator importante para a ocorrência das espécies é a sua forte associação com os mamíferos, pois eles representam a principal fonte de recurso alimentar (Halffter e

Matthews, 1966; Simmons e Ridsdill-Smith, 2011). Dessa forma, a redução da diversidade de mamíferos presentes nos ecossistemas provoca efeitos negativos sobre a comunidade de escarabeíneos, resultando em uma perda significativa da biodiversidade que em muitos casos tem origem antrópica (Culot et al., 2013; Nichols et al., 2013).

A presença ou ausência de certas espécies pode estar relacionada com as características do ambiente na qual estão inseridas. Os fatores ambientais como cobertura da vegetação, serrapilheira, temperatura e umidade variam em ecossistemas com diferentes níveis de conservação e são variáveis importantes de ocorrência das espécies (Harada et al., 2020; Marini, 2001). Essas características podem dar suporte para a reprodução, nidificação e forrageamento de diferentes espécies de besouros (Franklin et al., 2005; Halffter, 1991). Pois algumas espécies são altamente específicas quando se trata do habitat e podem não ocorrer em áreas abertas (De Almeida e Louzada, 2009), podem até mesmo diminuir ou desaparecer localmente (Hernández et al., 2014).

Em virtude da intensa perda de habitat de espécies no bioma Cerrado devido às atividades agropogênicas (Correa et al., 2020), é essencial entender o grau de associação dos escarabeíneos com as paisagens estudadas, uma vez que a identificação de tais espécies se torna uma ferramenta fundamental para monitorar habitats perturbados, e poderá apoiar decisões que visem recuperar ecossistemas ameaçados, tendo em vista que as funções ecológicas da comunidade edáfica presentes nos ambientes também enfrenta desafios de conservação.

Algumas lacunas como a falta de práticas de conservação e de informações básicas sobre a distribuição e preservação das espécies adaptadas às diferentes condições ambientais (Pouteau et al., 2022), podem ser preenchidas através de estudos ecológicos que associam as espécies com os fatores ambientais afim de trazer novas informações sobre a distribuição das espécies e sua relação com a variação das condições ambientais, além de possivelmente relatar a ocorrência de novas espécies, que podem contribuir pra futuras ações conservacionistas.

Devido a maioria das espécies de escarabeíneos terem sensibilidade as mudanças no uso da terra, o objetivo deste trabalho foi entender o efeito das variáveis ambientais sobre a diversidade (padrões de composição, riqueza e abundância) das espécies de escarabeíneos na região da bacia do rio Lajeado, Maranhão, a fim de encontrar áreas prioritárias para a conservação. Nesse contexto, testamos a seguinte hipótese: As espécies de escarabeíneos são influenciadas por fatores ambientais, sendo esperado que a comunidade de escarabeíneos

apresentará diferentes associações de acordo com a variação das características ambientais das paisagens estudadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Descrição do item na página 20.

2.2 Amostragem e identificação dos besouros escarabeíneos

Descrição do item na página 23.

2.3 Variáveis ambientais

Para mensurar a estrutura ambiental de cada área do estudo, foram medidas 6 variáveis: Temperatura, Umidade, Densidade de árvores e arbustos, Altura da vegetação, Abertura de dossel e Altura da serrapilheira. Os fatores abióticos de temperatura e umidade relativa foram medidos durante a instalação e retirada das armadilhas em cada local do estudo colocando um termohigrômetro digital (910.15chp, Alla Brasil), acima do solo. Na densidade de árvores e arbustos, o número de plantas foi contado em dois plots de (5x5m) nas proximidades de cada pitfall. Todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 10 cm foram registradas. A altura da vegetação foi medida mediante fita métrica. A abertura de dossel foi calculada através de um Densímetro esférico convexo que atribuiu as seguintes classes: 0–29%, 30–69%, 70–100% em cada um dos quatro cantos dos dois plots de (5x5m), assim como a profundidade da serrapilheira, que foi medida com auxílio de uma régua em cada um dos quatro cantos dos dois plots de (5x5m). Além disso, tiramos a média de todas variáveis ambientais para cada área de coleta em dois plots de (5x5m), para analisar o efeito dos fatores da heterogeneidade de habitat.

2.4 Análise de dados

A Análise de Redundância (RDA), através do pacote vegan (Oksanen et al., 2020) foi usada para verificar a influência das seis variáveis ambientais (Temperatura, Umidade, Altura da Serrapilheira, Altura da Vegetação, Abertura de Dossel, Número de Plantas) sobre a

composição de espécies. Os dados das espécies e das variáveis ambientais foram transformados ($\log(x + 1)$) para reduzir efeitos discrepantes.

Além disso, foram feitas análises de regressão linear múltipla com seleção de modelo das variáveis ambientais coletadas com o intuito de encontrar possíveis correlações entre as variáveis abióticas, nesse caso, o Critério de Informação de Akaike (AIC) foi utilizado (Burnham et al., 2011). Para a associação das variáveis com a composição de espécies na Análise de Redundância (RDA), consideramos somente 32 espécies de escarabeíneos. Todas as análises foram executadas no software R versão 4.1.1 (R Development Core Team, 2021).

3 RESULTADOS

3.1 Composição e abundância

Um total de 2.855 escarabeíneos foram capturados, pertencentes a 17 gêneros e 62 espécies (Descrição do item na página 26). As espécies mais abundantes foram *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) (28,12%, n = 803), *Onthophagus aff. rubrescens* (Blanchard, 1846) (13,65%, n = 390), *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) (5,11%, n = 146), *Canthon conformis* (Harold, 1868) (3,95%, n = 113) (Figura 1).

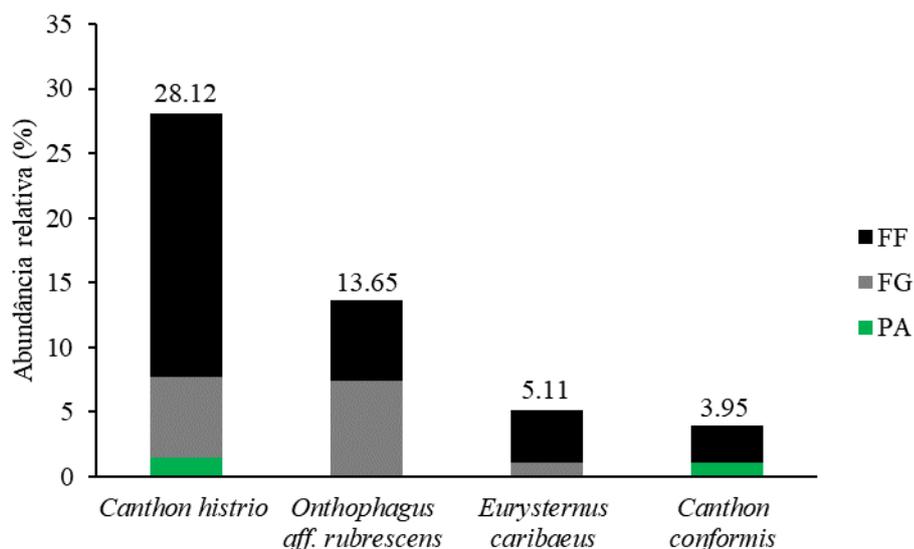


FIGURA 1 Espécies de escarabeíneos com maior abundância relativa (%), coletadas nas paisagens de Fragmentos florestais (FF), Florestas de Galeria (FG) e Pastagem (PA) da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil.

3.2 Avaliação do efeito das variáveis abióticas sobre os padrões de composição de escarabeíneos

A RDA ($gl=6$; Variância: 0.218; $F=1.584$; $p=0.005$), demonstrou haver relações de seis espécies com as variáveis abióticas (Figura 2). A espécie *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886) está associada ao ambiente de pastagem onde mantém uma forte relação com abertura de dossel. *Canthon conformis* (Harold, 1868) foi associada ao ambiente de fragmento florestal onde mantém forte relação com temperatura. *Eurysternus nigrovirens* (Génier, 2009) apresentou correlação com serrapilheira e altura da vegetação nas áreas de floresta de galeria e fragmento florestal. *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) foi mais relacionada com número de plantas nos fragmentos florestais. *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) e *Onthophagus* aff. *rubrescens* (Blanchard, 1846) apresentaram correlação com a umidade das áreas de florestas de galeria e fragmentos florestais. As demais espécies que constam no gráfico estão mais relacionadas com outras variáveis não explicadas pela RDA.

Além disso, o primeiro eixo (RDA1) foi responsável por 14.3% da variação e foi positivamente correlacionado com a umidade ($r = 0.37$), altura da serrapilheira ($r = 0.26$), altura da vegetação ($r = 0.36$) e número de plantas ($r = 0.64$); correlacionou-se negativamente com a temperatura ($r = -0.29$) e abertura de dossel ($r = -0.52$). O segundo eixo (RDA2) foi responsável por 5,6% da variação e foi positivamente correlacionado com a umidade ($r = 0.28$); correlacionou-se negativamente com temperatura ($r = -0.37$), altura da serrapilheira ($r = -0.32$), altura da vegetação ($r = -0.58$), abertura de dossel ($r = -0.07$) e número de plantas ($r = -0.22$) (Tabela 01).

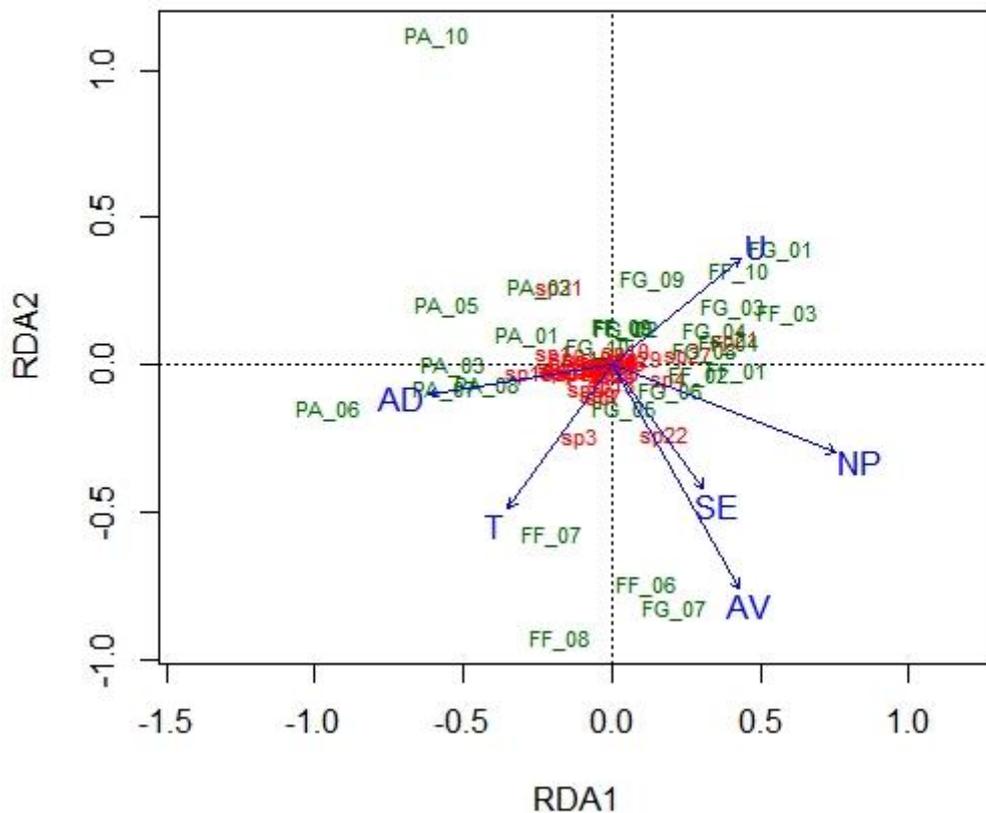


FIGURA 2 Análise de Redundância (RDA) de composição da comunidade de besouros escarabeíneos em função das variáveis ambientais coletadas nas três paisagens: Pastagem (PA), Floresta de Galeria (FG) e Fragmento Florestal (FF) da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil.

Variáveis ambientais: T-Temperatura, U-Umidade, SE-Altura da serrapilheira, AV-Altura da vegetação, AD-Abertura de dossel, NP-Número de plantas.

Espécies: sp1-*Canthidium* aff. *barbacenicum*; sp2-*Canthidium* aff. *impressum*; sp3-*Canthon conformis*; sp4-*Canthon histrio*; sp5-*Canthon lituratus*; sp6-*Canthon octodentatus*; sp7-*Canthon* aff. *machadoi*; sp8-*Canthon* aff. *piluliformis*; sp9-*Canthon* aff. *xanthopus*; sp10-*Coprophanaeus cyanescens*; sp11-*Coprophanaeus ensifer*; sp12-*Coprophanaeus magnoi*; sp13-*Deltochilum enceladus*; sp14-*Deltochilum pseudoicarus*; sp15-*Dichotomius bos*; sp16-*Dichotomius* aff. *depressicollis*; sp17-*Dichotomius lycas*; sp18-*Dichotomius nisus*; sp19-*Dichotomius opacipennis*; sp20-*Dichotomius* aff. *puncticollis*; sp21-*Eurysternus caribaeus*; sp22-*Eurysternus nigrovirens*; sp23-*Ontherus appendiculatus*; sp24-*Ontherus azteca*; sp25-*Ontherus sulcator*; sp26-*Onthophagus hircus*; sp27-*Onthophagus* aff. *rubrescens*; sp28-*Onthophagus ptox*; sp29-*Oxysternon conspicillatum*; sp30-*Phanaeus bispinus*; sp31-*Pseudocanthon xanthurus*; sp32-*Trichillum externepunctatum*.

TABELA 1 Análise de Redundância (RDA) das variáveis preditoras em áreas de Pastagens, Florestas de Galeria e Fragmentos Florestais da bacia hidrográfica do rio Lajeado, Maranhão, Brasil.

Variáveis ambientais	Loadings	
	RDA1	RDA2
Temperatura	-0.29	-0.37
Umidade	0.37	0.28
Altura da serrapilheira	0.26	-0.32
Altura da vegetação	0.36	-0.58
Abertura de dossel	-0.52	-0.07
Número de plantas	0.64	-0.22
Autovalor	10.1	3.9
(%) Explicação	14.3	5.6

*Valores em negrito referem-se as variáveis com maior poder de explicação (Loadings > 0.50).

4 DISCUSSÃO

Os resultados observados sustentaram a hipótese testada, de que existem espécies de escarabeíneos que são influenciadas por fatores ambientais. De acordo com a Análise de Redundância (RDA) a assembleia de escarabeíneos de habitats antropogênicos (Pastagem), são influenciadas principalmente pela abertura de dossel. Nesse estudo, somente *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886) apresentou relação com esse fator abiótico nas áreas de pastagem, que por sua vez, apresentaram altas temperaturas. A diminuição de espécies associadas a esses fatores, pode estar relacionado ao fato de que as altas temperaturas em detrimento da abertura de dossel, impactam negativamente a comunidade de escarabeíneos, pois muitas espécies não toleram altas temperaturas, um fator limitante que também afeta a sobrevivência das larvas (Campos e Hernandez, 2013; Korasaki et al., 2013).

Por outro lado, a Análise de Redundância (RDA) demonstrou que as comunidades de habitats heterogêneos (Fragmento Florestal e Floresta de Galeria) são influenciadas pelas características da estrutura da vegetação (Densidade de árvores, Altura da serrapilheira), temperatura e umidade, que também são fatores importantes para a distribuição da comunidade de escarabeíneos em outras regiões do Brasil (Salomão et al., 2019; Tissiani et al., 2015).

A cobertura de serrapilheira nos ecossistemas é um fator relevante para que uma comunidade edáfica seja mais abundante dentro do gradiente ambiental devido a maior disponibilidade de habitats e matéria orgânica (Sayad et al., 2012; Wiezik et al., 2007; Zagatto et al., 2020). A espécie *Eurysternus nigrovirens* (Génier, 2009) que foi correlacionada positivamente com a altura da serrapilheira, aparentemente se beneficia em sua guilda comportamental (morador), mediante essa correlação significativa que facilita na obtenção de recursos. Entretanto, algumas espécies de escarabeíneos rola-dostas tendem a ter suas atividades de nidificação afetadas negativamente com o aumento da quantidade de serrapilheira (Nichols et al., 2013). Um fato que pode explicar a falta de associação da maioria das espécies do estudo com as áreas de maior prevalência dessa variável ambiental.

Espécies de besouros rola-bostas associadas as áreas de maior cobertura verde em virtude de maior número de plantas (tamanho maior ou menor), como, por exemplo, *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) encontrada nesse estudo, podem ser influenciadas por fatores climáticos (temperatura e umidade), que por sua vez, relaciona-se aos aspectos reprodutivos (Martínez e Vásquez, 1995; Nichols et al., 2007). Diante disso, assim como os parâmetros do solo, a estrutura da vegetação é um fator primordial para a comunidade de besouros, pois dependendo do seu estado de conservação, isso pode afetar a sobrevivência das larvas (Davis et al., 2010). Logo, a densidade da vegetação ajuda na qualidade do habitat e disponibilidade de recursos para besouros escarabeíneos (Halffter e Matthews, 1966).

O fator da temperatura afetou negativamente a espécie *Canthon conformis* (Harold, 1868) nas áreas de fragmentos florestais. Em contraste, a umidade presente nas áreas de (Fragmento Florestal e Floresta de Galeria), afetou positivamente as espécies *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) e *Onthophagus aff. rubrescens* (Blanchard, 1846). De fato, fatores microclimáticos, também podem afetar a estrutura, composição e abundância de Scarabaeinae em diferentes ecossistemas (Halffter e Arellano, 2002; Halffter e Matthews, 1966; Escobar et al., 2007; Gardner et al., 2008). Fezes de mamíferos expostas a temperaturas mais altas por muito tempo pode passar por um processo de rápida secagem o que aumenta as chances de mortalidade das larvas e também reduz o tempo de sua utilização por algumas espécies de besouros (Durães et al., 2005).

Todavia, ambientes com maior umidade (fragmento florestal e floresta de galeria), podem gerar condições microclimáticas que favorecem as guildas das espécies *E. caribaeus* e *O. rubrescens*, devido as fezes secaram de forma mais lenta (Hanski e Cambefort, 1991). Além disso, os solos mais úmidos dos ecossistemas florestais podem aumentar a capacidade

das funções ecológicas dos escarabeíneos, como a construção de ninhos através de galerias debaixo do solo o que aumenta as chances de sobrevivência e alimentação das larvas (Gardner et al., 2008; Lira et al., 2022).

A heterogeneidade da paisagem influencia no padrão de distribuição de espécies de besouros que ocorrem em ecossistemas florestais ou abertos (Halfpeter e Arellano, 2002; Silva e Hernández, 2016). As diferentes características ambientais também podem afetar a ocorrência de algumas espécies de mamíferos e a qualidade nutricional das fezes disponibilizadas (Filgueiras et al., 2009; Marsh et al., 2013). Fator importante, pois algumas espécies de besouros podem apresentar preferências por fezes de maior qualidade nutricional, e isto pode, por sua vez, impactar as assembleias e a estrutura da comunidade de besouros (Bogoni e Hernández, 2014).

Embora nem todas as espécies coletadas no presente estudo apresentaram relação com os fatores abióticos dos habitats, foram encontradas evidências de que existem seis espécies de escarabeíneos que são influenciadas positivamente e negativamente pelos fatores ambientais das paisagens estudadas, e estas, por sua vez, poderiam ser usadas para biomonitoramento de paisagens modificadas e fragmentadas pelo homem. Essas espécies realizam funções ecológicas importantes como ciclagem rápida e eficiente de nutrientes (Nealis, 1977), dispersão secundária de sementes (Estrada e Coates-Estrada, 1991), e controle sobre a população de ovos e larvas de moscas presentes em fezes e carcaças de animais em decomposição (Nichols et al., 2008; Santos et al., 2018).

5 CONCLUSÕES

Nossos resultados mostraram a existência de associações significativas entre algumas espécies de besouros escarabeíneos com as características ambientais das diferentes paisagens da bacia do rio Lajeado, bioma Cerrado brasileiro. A comunidade de besouros rolabostas foi influenciada por diferentes variáveis ambientais nos distintos usos da terra. Portanto, nossa hipótese de que as espécies de escarabeíneos são influenciadas por fatores ambientais e apresentam diferentes associações de acordo com a variação das características ambientais foi corroborada.

Além disso, este trabalho revela a importância da preservação das áreas das paisagens para a manutenção e conservação das espécies de besouros, bem como para a resposta dessas espécies às mudanças ambientais. Esperamos que nossos resultados possam fornecer informações sobre Scarabaeinae em relação à seleção de diferentes usos da terra da

bacia do rio Lajeado para conservação e monitoramento na região, onde a atividade humana ameaça cada vez mais a manutenção dos ecossistemas naturais.

Por fim, incentivamos a complementação de mais estudos com foco comparativo entre áreas do Cerrado com diferentes níveis de conservação/degradação na região estudada, uma vez que existem outras espécies relacionadas a outras variáveis ambientais não explicadas no presente estudo.

REFERÊNCIAS

- Barlow, J., Gardner, T. A., Araujo, I. S., Ávila-Pires, T. C., Bonaldo, A. B., Costa, J. E., & Peres, C. A. (2007). Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(47), 18555-18560. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703333104>
- Bogoni, J. A., & Hernández, M. I. (2014). Attractiveness of native mammal's feces of different trophic guilds to dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). *Journal of Insect Science*, *14*(1). <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu161>
- Bugoni, A., Hernández, M. I. M., & Lingnau, R. (2017). Diagnóstico de qualidade ambiental do Parque Estadual Vitória Piassa por meio do uso de besouros bioindicadores. *Biotemas*, *30*(3), 49-59
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., Huyvaert, K.P., (2011). AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology* *65*, 23–35. <https://doi.org/10.1007/s00265-010-1029-6>
- Cajaiba, R. L., Périco, E., Dalzochio, M. S., da Silva, W. B., Bastos, R., Cabral, J. A., & Santos, M. (2017). Does the composition of Scarabaeidae (Coleoptera) communities reflect the extent of land use changes in the Brazilian Amazon?. *Ecological Indicators*, *74*, 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.018>
- Campos, R. C., & Hernández, M. I. M. (2013). Dung beetle assemblages (Coleoptera, Scarabaeinae) in Atlantic forest fragments in southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, *57*, 47-54. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262013000100008>
- Correa, C. M., Puker, A., & Abot, A. R. (2020). Impacts of exotic pasture establishment on dung beetle assemblages (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in the Brazilian cerrado. *Environmental Entomology*, *49*(6), 1335-1344. <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa132>
- Culot, L., Bovy, E., Vaz-de-Mello, F. Z., Guevara, R., & Galetti, M. (2013). Selective defaunation affects dung beetle communities in continuous Atlantic rainforest. *Biological Conservation*, *163*, 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.04.004>

- Davis, A. L., Scholtz, C. H., Kryger, U., Deschodt, C. M., & Strümpher, W. P. (2010). Dung beetle assemblage structure in Tswalu Kalahari Reserve: responses to a mosaic of landscape types, vegetation communities, and dung types. *Environmental entomology*, 39(3), 811-820. <https://doi.org/10.1603/EN09256>
- De Almeida, S. D. S., & Louzada, J. N. (2009). Estrutura da comunidade de Scarabaeinae (Scarabaeidae: Coleoptera) em fitofisionomias do Cerrado e sua importância para a conservação. *Neotropical entomology*, 38, 32-43. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000100003>
- Dick, M., da Silva, M. A., da Silva, R. R. F., Ferreira, O. G. L., de Souza Maia, M., de Lima, S. F., ... & Dewes, H. (2021). Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127750>
- Duque-Vélez, P., Olivera-Angel, M., & Wolff, M. (2022). Silvopastoral systems as an alternative for conservation of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a cattle landscape in Caucasia Colombia. *Caldasia*, 44(1), 184-193
- Durães, R., Martins, W. P., & Vaz-de-Mello, F. Z. (2005). Comunidade de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeidae) ao longo de um ecótono natural entre floresta e cerrado em Minas Gerais. *Neotropical Entomology*, 34, 721-731. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000500003>
- Escobar, F., Halffter, G., & Arellano, L. (2007). From forest to pasture: an evaluation of the influence of environment and biogeography on the structure of beetle (Scarabaeinae) assemblages along three altitudinal gradients in the Neotropical region. *Ecography*, 30(2), 193-208. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2007.04818.x>
- Estrada, A., & Coates-Estrada, R. (1991). Howler monkeys (*Alouatta palliata*), dung beetles (Scarabaeidae) and seed dispersal: ecological interactions in the tropical rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 7(4), 459-474
- Favila, M. E., & Halffter, G. (1997). The use of indicator groups for measuring biodiversity as related to community structure and function. *Acta Zoológica Mexicana (ns)*, (72), 1-25
- Franklin, E., Magnusson, W. E., & Luizão, F. J. (2005). Relative effects of biotic and abiotic factors on the composition of soil invertebrate communities in an Amazonian savanna. *Applied Soil Ecology*, 29(3), 259-273
- Filgueiras, B. K., Liberal, C. N., Aguiar, C. D., Hernández, M. I. M., & Iannuzzi, L. (2009). Attractivity of omnivore, carnivore and herbivore mammalian dung to Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) in a tropical Atlantic rainforest remnant. *Revista Brasileira de Entomologia*, 53, 422-427. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262009000300017>
- Giménez Gómez, V. C., Verdú, J. R., Casanoves, F., & Zurita, G. A. (2022). Functional responses to anthropogenic disturbance and the importance of selected traits: A study

- case using dung beetles. *Ecological Entomology*, 47(4), 503-514.
<https://doi.org/10.1111/een.13135>
- González, T. M., González-Trujillo, J. D., Muñoz, A., & Armenteras, D. (2021). Differential effects of fire on the occupancy of small mammals in neotropical savanna-gallery forests. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(2), 179-188.
<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.03.005>
- Goulson, D. (2019). The insect apocalypse, and why it matters. *Current Biology*, 29(19), R967-R971. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.069>
- Halfpeter, G., & Arellano, L. (2002). Response of dung beetle diversity to human-induced changes in a tropical landscape 1. *Biotropica*, 34(1), 144-154
- Halfpeter, G. (1991). Historical and ecological factors determining the geographical distribution of beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Biogeographia—The Journal of Integrative Biogeography*, 15(1)
- Halfpeter, G., & Favila, M. E. (1993). The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analyzing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes. *Biol Intl*, 27, 15-21
- Halfpeter, G., & Matthews, E. G. (1966). The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). *Folia Entomologica Mexicana, Texcoco*, v. 12, p. 1-312
- Hanski, I., & Cambefort, Y. (1991). Competition in dung beetles. *Dung beetle ecology*, 305-329
- Harada, L. M., Araújo, I. S., Overal, W. L., & Silva, F. A. B. (2020). Comparison of dung beetle communities (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in oil palm plantations and native forest in the eastern Amazon, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 64. <https://doi.org/10.1590/1806-9665-RBENT-2019-102>
- Heino, J. (2009). Biodiversity of aquatic insects: spatial gradients and environmental correlates of assemblage-level measures at large scales. *Freshwater reviews*, 2(1), 1-29
- Hernández, M. I. M., Da Silva, P. G., Niero, M. M., Alves, V. M., Bogoni, J. A., Brandl, A. L., & Vaz-de-Mello, F. Z. (2019). Ecological characteristics of Atlantic Forest dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in the state of Santa Catarina, southern Brazil. *The Coleopterists Bulletin*, 73(3), 693-709.
<https://doi.org/10.1649/0010-065X-73.3.693>
- Hernández, M. I., Barreto, P. S., Costa, V. H., Creao-Duarte, A. J., & Favila, M. E. (2014). Response of a dung beetle assemblage along a reforestation gradient in Restinga forest. *Journal of insect conservation*, 18(4), 539-546.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.01.023>

- Korasaki, V., Braga, R. F., Zanetti, R., Moreira, F. M., Vaz-de-Mello, F. Z., & Louzada, J. (2013). Conservation value of alternative land-use systems for dung beetles in Amazon: valuing traditional farming practices. *Biodiversity and Conservation*, 22, 1485-1499. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0487-3>
- Lira, L. A., & Frizzas, M. R. (2022). Behavioral Aspects of *Coprophanæus ensifer* (Germar)(Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) Associated with Pig Carcasses in Central Brazil. *Neotropical Entomology*, 51(1), 65-72. Lira, L. A., & Frizzas, M. R. (2022). Behavioral Aspects of *Coprophanæus ensifer* (Germar)(Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) Associated with Pig Carcasses in Central Brazil. *Neotropical Entomology*, 51(1), 65-72. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00922-x>
- Liu, Y., Rothenwöhler, C., Scherber, C., Batáry, P., Elek, Z., Steckel, J., & Westphal, C. (2014). Functional beetle diversity in managed grasslands: effects of region, landscape context and land use intensity. *Landscape ecology*, 29(3), 529-540. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-9987-0>
- Marini, M. Â. (2001). Effects of forest fragmentation on birds of the cerrado region, Brazil. *Bird Conservation International*, 11(1), 13-25. <https://doi.org/10.1017/S0959270901001034>
- Marsh, C. J., Louzada, J., Beiroz, W., & Ewers, R. M. (2013). Optimising bait for pitfall trapping of Amazonian dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). *PLoS One*, 8(8), e73147. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073147>
- Martínez, I. M., & Vásquez, A. A. (1995). Influencia de algunos factores ambientales sobre la reproducción em *Canthon cyanellus cyanellus* Le Conte (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Elytron*, 9, 5-13
- Medina, A. M., & Lopes, P. P. (2014). Resource utilization and temporal segregation of Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) community in a Caatinga fragment. *Neotropical entomology*, 43(2), 127-133. <https://doi.org/10.1007/s13744-014-0198-9>
- Nealis, V. G. (1977). Habitat associations and community analysis of south Texas dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). *Canadian Journal of zoology*, 55(1), 138-147
- Neves, F. S., Oliveira, V. H. F., do Espírito-Santo, M. M., Vaz-de-Mello, F. Z., Louzada, J., Sanchez-Azofeifa, A., & Fernandes, G. W. (2010). Successional and seasonal changes in a community of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a Brazilian tropical dry forest. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, 8, 160-164. <https://doi.org/10.4322/natcon.00802009>
- Nichols, E., Larsen, T., Spector, S., Davis, A. L., Escobar, F., Favila, M., ... & Network, T. S. R. (2007). Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: a quantitative literature review and meta-analysis. *Biological conservation*, 137(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.01.023>

- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcuita, S., Favila, M. E., & Network, T. S. R. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological conservation*, *141*(6), 1461-1474. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>
- Nichols, E., Uriarte, M., Peres, C. A., Louzada, J., Braga, R. F., Schiffler, G., & Spector, S. H. (2013). Human-induced trophic cascades along the fecal detritus pathway. *PloS one*, *8*(10), e75819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075819>
- Nichols, E., Uriarte, M., Bunker, D.E., Favila, M.E., Slade, E.M., Vulinec, K., Larsen, T., Vaz-de-Mello, F.Z., Louzada, J., Naeem, S., Spector, S., 2013. Trait-dependent response of dung beetle populations to tropical forest conversion at local and regional scales. *Ecology* *94*, 180-189. <https://doi.org/10.1890/12-0251.1>
- Oksanen, F. J et al. (2020), vegan: Community Ecology Package. R package version 2.6-2. Disponível: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Outhwaite, C. L., McCann, P., & Newbold, T. (2022). Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature*, *605*(7908), 97-102 <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x>
- Pouteau, R., Brunel, C., Dawson, W., Essl, F., Kreft, H., Lenzner, B & van Kleunen, M. (2022). Environmental and socioeconomic correlates of extinction risk in endemic species. *Diversity and Distributions*, *28*(1), 53-64. <https://doi.org/10.1111/ddi.13438>
- Pishyar, S., Khosravi, H., Tavili, A., & Malekian, A. (2018). Desertification risk mapping based on water resources degradation using multi criteria decision making (case study: Kashan Plain). *Journal of Water and Soil Science*, *21*(4)
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Salomão, R. P., Brito, L. C., Iannuzzi, L., Lira, A. F., & Albuquerque, C. M. (2019). Effects of environmental parameters on beetle assemblage in a fragmented tropical rainforest of South America. *Journal of Insect Conservation*, *23*(1), 111-121. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-00120-y>
- Santos, R. S., Sutil, W. P., & de Oliveira, J. F. A. (2018). Besouros escarabeídeos (Coleoptera: Scarabaeidae) coletados em remanescente florestal em Rio Branco, Acre, Brasil. *Agrotropica* *30*(1): 43-48
- Sayad, E., Hosseini, S. M., Hosseini, V., & Salehe-Shooshtari, M. H. (2012). Soil macrofauna in relation to soil and leaf litter properties in tree plantations. *Journal of forest science*, *58*(4), 170-180. <https://doi.org/10.17221/58/2011-JFS>
- Silva, P. G. D., & Hernández, M. I. M. (2016). Spatial variation of dung beetle assemblages associated with forest structure in remnants of southern Brazilian Atlantic Forest. *Revista Brasileira de Entomologia*, *60*, 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2015.11.001>

- Simmons, L. W., & Ridsdill-Smith, T. J. (Eds.). (2011). *Ecology and evolution of dung beetles*. John Wiley & Sons
- Tissiani, A. S. O., Sousa, W. O., Santos, G. B., Ide, S., Battirola, L., & Marques, M. I. (2015). Environmental influence on coprophagous Scarabaeidae (Insecta, Coleoptera) assemblages in the Pantanal of Mato Grosso. *Brazilian Journal of Biology*, *75*, 136-142. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.07514>
- Wiezik, M., Svitok, M., & Dovčiak, M. (2007). Conifer introductions decrease richness and alter composition of litter-dwelling beetles (Coleoptera) in Carpathian oak forests. *Forest Ecology and Management*, *247*(1-3), 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.013>
- Zagatto, M. R. G., Oliveira Filho, L. C. I., Pompeo, P. N., Niva, C. C., Baretta, D., & Bran Nogueira Cardoso, E. J. (2020). Mesofauna and Macrofauna in Soil and Litter of Mixed Plantations. In *Mixed Plantations of Eucalyptus and Leguminous Trees* (pp. 155-172). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32365-38>

V CONCLUSÃO GERAL

Os principais resultados da comunidade de besouros escarabeíneos nas diferentes paisagens do nosso estudo são destacados nos parágrafos a seguir:

(Capítulo I) - Nossos resultados mostraram que: (i) a região da bacia hidrográfica do rio Lajeado, possui maior riqueza de espécies nas áreas de fragmentos florestais e pastagens. No entanto, baixa riqueza de espécies nas áreas de florestas de galeria; (ii) maior abundância de besouros em fragmentos florestais, enquanto que pastagens e florestas de galeria tiveram abundâncias semelhantes; (iii) dissimilaridade na composição de espécies de pastagens quando comparada as áreas de fragmentos florestais e florestas de galeria; (iv) maior associação de espécies indicadoras em habitats perturbados (pastagens).

(Capítulo II) - Seis espécies do nosso estudo tiveram associações com as variáveis abióticas coletadas. *Canthidium* aff. *barbacenicum* (Preudhomme de Borre, 1886) foi associada ao ambiente de pastagem onde mantém uma forte relação com abertura de dossel. *Canthon conformis* (Harold, 1868) foi associada ao ambiente de fragmento florestal onde mantém forte relação com temperatura. *Eurysternus nigrovirens* (Génier, 2009) apresentou correlação com serrapilheira e altura da vegetação nas áreas de floresta de galeria e fragmento florestal. *Canthon histrio* (Le Peletier & Serville, 1828) foi mais relacionada com número de plantas nos fragmentos florestais. *Eurysternus caribaeus* (Herbst, 1789) e *Onthophagus* aff. *rubrescens* (Blanchard, 1846) foram relacionadas com a umidade das áreas de florestas de galeria e fragmentos florestais.