

FUNÇÕES ECOSSISTÊMICAS REALIZADAS POR
BESOUROS SCARABAEINAE
NA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA:
ASPECTOS QUANTITATIVOS EM ÁREAS DE
MATA ATLÂNTICA

MOACYR BATILANI-FILHO

Moacyr Batilani-Filho

Funções ecossistêmicas realizadas por besouros Scarabaeinae na decomposição da matéria orgânica: aspectos quantitativos em áreas de Mata Atlântica

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Malva Isabel Medina Hernández

Florianópolis, SC
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Batilani-Filho, Moacyr

Funções ecossistêmicas realizadas por besouros
Scarabaeinae na decomposição da matéria orgânica : aspectos
quantitativos em áreas de Mata Atlântica / Moacyr Batilani-
Filho ; orientadora, Malva Isabel Medina Hernández -
Florianópolis, SC, 2015.

91 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-
Graduação em Ecologia.

Inclui referências

1. Ecologia. 2. Ecologia. 3. Entomologia. 4. Serviços
Ecossistêmicos. 5. Scarabaeinae. I. Hernández, Malva
Isabel Medina. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Ecologia. III. Título.

*Para
Minha mãe Maria Manuela Valdez
Freitas e para o meu namorado Júlio
Cezar Pereira da Silva.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha mãe, meu exemplo de coragem, determinação, empreendedorismo e fé. Agradeço por ela não me deixar desistir, por me aconselhar com carinho, “patrocinar” quando necessário, ouvir todas as minhas queixas e se empolgar com todas as minhas reflexões e conquistas. Agradeço também às minhas irmãs, por aceitarem a minha ausência sem deixar que eu me distanciasse. Agradeço ao meu namorado Júlio Cezar, por toda ajuda no *Corel Draw* e no campo, ainda que atrapalhado e morrendo de medo das aranhas; obrigado por cuidar da nossa casa enquanto eu estive fora.

À minha orientadora, Malva Isabel Medina Hernández, por aceitar o desafio de instruir um desconhecido, por acreditar em mim quando vários outros professores não o fizeram e por me apresentar os besouros rola-bosta e demonstrar todo o potencial científico que reside neste grupo, que me acompanhará em minha trajetória científica, por compartilhar seus conhecimentos e me enriquecer com sua cultura, por me emprestar dinheiro e assim patrocinar meu primeiro vôo internacional. Malva, obrigado por me inspirar com a sua trajetória, história e discurso!

Aos amigos do laboratório, aos quais levarei para sempre no coração: Renata Calixto, por me ensinar a coletar mesmo antes de começar as aulas, me acalmar quando percebia que eu estava quase surtando e sempre dizer: “*calma, calma, isso vai dar certo, tem que dar certo!*”, por me lembrar de malhar mesmo quando eu não tinha tempo sequer para dormir, por estar comigo em infinitos campos em busca dos besouros que desapareciam misteriosamente só para evidenciar a onipresença da Lei de Murphy, por me inspirar a ser sempre autêntico, por me orgulhar com o seu trabalho e me fazer entender que trabalho de campo, só quem vai a campo entende. Ao Pedro Giovâni da Silva por me ajudar no campo, me ensinar a identificar e sexar os besouros do parque, por me alfabetizar no R, me ajudar com as análises, por compartilhar seus conhecimentos, por todos os comentários valiosos e generosos, por ser inspirador com seu exemplo e prática e, por ter a maior das virtudes, paciência. Ao Juliano Bogoni por toda ajuda em campo, pelos conselhos e “bordões”, pela ajuda nas análises e no R, por todos os cigarros e cafés enquanto discutíamos meus problemas conceituais, por me inspirar com a sua organização e planejamento. A Clisten, Mari Dalva e Mariana pela ajuda nos primeiros campos, pela ajuda e companhia no laboratório e especialmente pelas belíssimas fotos dos besouros utilizadas neste trabalho que são de autoria da Mariana!

Agradeço muito à bióloga Karla Zanenga Scherer por me auxiliar no preparo do material de campo, por me aconselhar, ouvir e ser sempre ética e carinhosa. Agradeço por ela ter me deixado fazer café um zilhão de vezes e sempre ter tido um tempo para discutir comigo nestes momentos. Ao biólogo Félix Baumgarten Rosumek, por ser compreensivo com os meus prazos e empréstimos de equipamento, além de dividir o laboratório comigo e com todas as minhas coisas, que nem sempre eram cheirosas. Ao Eduardo Giehl pela ajuda na estatística e no R e ao Cássio Daltrine Nero por ir a campo e fazer a identificação florística das áreas investigadas nesta pesquisa. Ao aspirante a biólogo, Guilherme Azzolini, pela companhia e ajuda nos primeiros campos. A Cristiana Barbosa, Cecília Dalloto e Cristian Klunk por dividirem seus espaços comigo e rirem das minhas histórias. Aos Monetas, Valnir, Ninha e Dido, pelo carinho que recebi todas as vezes que busquei apoio e fraternidade nesta casa que é tão minha.

Aos coleguinhas, primeiro aos que foram para campo comigo mesmo em dias que deveriam estar escrevendo ou analisando seus próprios dados: Larissa Zanette-Silva, obrigado também por todas as discussões, por todos os conselhos, por dividir sua casa comigo e também pela autoria do nosso livro; Bianca Romeu, obrigado também pelas outras oportunidades que você me apresentou neste período e por estar nos melhores momentos de bar com a galera, mesmo não bebendo; Viviani Vieira “minha esposa”, obrigado por sua casa, a nossa casa, por toda companhia, por todo apoio, por tantas risadas e planos e claro, obrigado por todos os sucos de laranja que você preparou nas nossas manhãs no Campeche; Daniel Albeny, obrigado por me ajudar a manter a sobriedade, mesmo que isso não signifique exatamente isso, por dividir sua casa comigo (meu Deus, morei com uma raça!), por me levar, buscar e levar de novo com todos os trambolhos lá para o parque, por ludicamente me fazer acreditar que a minha estada por lá seria como em *Lost* (mas sem a parte em que todos estavam mortos); Caroline Oswald, que não era da minha turma, que não era do meu laboratório, que não era rolabosteira, que não era sequer da pós em ecologia, mas se ofereceu e foi para campo comigo (e depois quase morreu de choque anafilático).

Os outros coleguinhas igualmente importantes e inesquecíveis: Renan Paitach, que não foi para campo, mas me levou inúmeras vezes para Florianópolis-Itajaí e não permitiu que em nenhuma das vezes a viagem fosse entediante; Luiza Beirão por estar sempre disponível para as longas conversas da turma; Graziela Oliveira por inúmeras “escapadinhas” para um cigarro ecológico; Manuela Batista por me ensinar que em alguns

casos não há alternativa para a frase “*gentequeissodôcontarão*”, mas que ainda assim, é preciso fazer o que tem que ser feito; Kênia Valadares por frases e adjetivos inimagináveis; Débora Bentrano por já estar onde eu quero estar e fazer da sua *house* nossa sede de “reuniões extras oficiais”; Júlia Ávila por sempre me abraçar nos corredores e trocar uma *vibe* boa; Wilson Reis, por nossas conversas e troca de artigos, principalmente aquele enviado aos 45 do segundo tempo; Pablo Riul por nos obrigar a curtir enquanto estávamos inocentes à espera do campo, isso foi primordial para que a turma se transformasse nesta *big* família que somos. Coleguinhas, dividimos muitas histórias dignas do melhor *stand up comedy* ainda não escrito, sou muito grato pelas risadas e companheirismo, levo muita coisa do mestrado, mas a certeza de que vocês foram muito especiais é uma das quais mais me orgulho!

Agradeço também as instituições que viabilizaram esta experiência incrível que foi a realização do meu mestrado: ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina (POSECO-UFSC); a Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis (FLORAM) e aos funcionários do Parque Municipal da Lagoa do Peri, por permitirem e viabilizarem a logística de campo; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida a mim.

RESUMO

Toda atividade desempenhada por um organismo que tenha implicações em processos ecossistêmicos naturais, como ciclagem de nutrientes ou dispersão de sementes, pode ser considerada uma função ecológica. Quando estas funções proporcionam benefícios à população humana e podem ser valoradas economicamente podem ser consideradas como serviços ecossistêmicos. Esses serviços são subdivididos hierarquicamente em quatro categorias ou funções ecossistêmicas: função de suporte, como base dos serviços ecossistêmicos, função de provisão, função de regulação e função cultural. O comportamento alimentar dos besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) tem implicações positivas na função ecossistêmica de suporte, que envolve a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e a formação dos solos. Estes insetos se alimentam principalmente de excremento e carcaça e assim contribuem positivamente na decomposição da matéria orgânica, aceleram a ciclagem de nutrientes e realizam a dispersão secundária de sementes que estão inseridas nas fezes de vertebrados que utilizam como recurso. Os escarabeíneos podem ainda ser classificados em três guildas funcionais, de acordo com o seu comportamento de aquisição e manipulação do recurso: a guilda dos paracoprídeos compreende os insetos que alocam o recurso alimentar em túneis subterrâneos imediatamente abaixo da fonte; na guilda dos telecoprídeos que confeccionam bolas de alimento, que podem ser utilizadas na nidificação, e as rodam a certa distância da fonte para enterrá-las, e por fim; a guilda dos endocoprídeos que se alimentam e nidificam diretamente na fonte do recurso, não os alocando. Neste contexto, objetivo deste trabalho foi caracterizar quantitativamente as funções ecológicas desempenhadas por estes insetos em uma abordagem de comunidade, investigando as implicações da qualidade do ambiente sobre a função de remoção de carcaça e excremento e, além disso, detalhar o desempenho funcional de quatro espécies. Assim, os objetivos específicos foram: inicialmente desenvolver uma metodologia de coloração de excremento para facilitar a quantificação do material alocado pelas guildas funcionais e subsidiar os trabalhos subsequentes; caracterizar a função de remoção das comunidades de escarabeíneos necrófagos e coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental e evidenciar quais aspectos da comunidade e das guildas funcionais, tais como riqueza de espécie, abundância e biomassa, são mais atuantes no seu desempenho funcional; descrever a capacidade funcional de

remoção e alocação de excremento e de dispersão secundária de sementes efetuada por *Canthon rutilans cyanescens* e *Deltochilum multicolor* (telecoprídeos) e por *Dichotomius sericeus* e *Phanaeus splendidulus* (paracoprídeos). No caso da metodologia de coloração, para testar o efeito do corante sobre a atratividade e manipulação dos excrementos de cachorro doméstico pelos escarabeíneos, em um remanescente de Mata Atlântica localizado em Florianópolis, SC, dentro da Unidade de Conservação Ambiental Desterro, instalamos dez pares de arenas de coleta e avaliação: em cada par, uma das arenas foi iscada com 50 g de excremento não corado e outra com 50 g de excremento corado com corante líquido inodoro, comestível, na cor azul (40 ml/kg) e após 48 horas de exposição em campo, avaliamos a riqueza de espécies e abundância de indivíduos, atributos da comunidade, e a remoção e a alocação do excremento removido pela comunidade. No trabalho com abordagem de comunidade, utilizamos duas áreas que diferiam no grau de perturbação ambiental evidenciado por diferenças na composição florística e em atributos estruturais da vegetação e do solo, estas áreas se encontram em um remanescente de Mata Atlântica, também localizado em Florianópolis, SC, dentro do Parque Municipal da Lagoa do Peri. Em novembro e dezembro de 2013, montamos um experimento em oito pontos amostrais em cada uma dessas áreas e dentro de cada ponto instalamos duas arenas de coleta de escarabeíneos necrófagos e uma arena controle, que foram iscadas com 50 g de carne suína em putrefação e expostas em campo por 48 horas, onde fizemos também a avaliação simultânea de remoção desta carcaça utilizando a mesma arena. Adotando o mesmo desenho amostral, em janeiro de 2014, com 50 g de excremento de cachorro doméstico corado em cada arena, avaliamos a comunidade dos coprófagos e simultaneamente a remoção deste excremento na mesma arena. Por fim, na abordagem populacional envolvendo as quatro espécies, dois tratamentos foram conduzidos durante o período de março a maio de 2014: um para avaliar o efeito do período de exposição ao recurso sobre a capacidade funcional de *C. rutilans*, *D. multicolor*, *D. sericeus* e *P. splendidulus* e outro para avaliar o efeito da densidade de indivíduos de *C. rutilans* e *D. sericeus* sobre esta capacidade. Para tanto, um total de 224 indivíduos foram distribuídos em casais ou grupos contendo três casais e dispostos em 64 arenas de avaliação, nas quais foram oferecidos 30 g de excremento corado de cachorro, divididos em três porções iguais: uma contendo 60 sementes artificiais pequenas (2 mm de diâmetro), uma contendo 10 sementes artificiais grandes (5 mm) e uma sem sementes. As arenas foram cobertas com tecido do tipo véu e

ficaram expostas em campo por dois, sete e 21 dias com quatro réplicas cada, conforme o tratamento. Quanto aos nossos resultados, a técnica de coloração não interferiu na atratividade e nem na manipulação dos excrementos. Na abordagem de comunidade, os necrófagos foram mais sensíveis às diferenças ambientais entre as áreas e apresentaram menor riqueza e mudanças na dominância de espécies, o que resultou em menor remoção na área de maior grau de perturbação ambiental (39,6%) em relação à área de menor grau de perturbação e por tal, de maior qualidade ambiental (75,1%). Os coprófagos foram similares em estrutura das comunidades e quantidade de remoção entre essas duas áreas, aproximadamente 80% do recurso oferecido foi removido, sendo que esta remoção foi influenciada significativamente pela abundância e a biomassa dos telecoprídeos. Quanto às espécies investigadas, o tempo e a densidade aumentaram a remoção e o número de bolas de alimentação feitas por *C. rutilans*. Para *D. sericeus* esses fatores aumentaram a remoção e a alocação de excremento, enquanto que a dispersão e a profundidade de enterrio das sementes grandes aumentaram com o tempo e a profundidade das sementes pequenas e o número de túneis aumentaram com a densidade. Para *P. splendidulus*, o tempo aumentou a remoção de excremento e a profundidade das sementes pequenas, sendo que *D. multicolor* não teve nenhuma função influenciada pelo período de exposição ao recurso. Assim, estes dados sobre os fatores que influenciam na execução das funções ecológicas realizadas pelos escarabeíneos, observando desde a comunidade como um todo, posteriormente as guildas funcionais e finalmente as espécies, valorizam os serviços prestados por estes insetos em ambientes naturais e indicam como a perda da qualidade ambiental afeta negativamente o desempenho funcional deste grupo e demonstra aspectos chaves para a função de suporte e regulação dentro dos serviços ecossistêmicos.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - 1. A) Ilustração da arena para a coleta de escarabeíneos e avaliação da remoção de excremento não corado com margem de 5 cm de borda e demonstração das possíveis vias de alocação do excremento removido nas 48 horas de duração da avaliação (telecoprídeo na superfície e/ou paracoprídeo no interior das galerias subterrâneas); B) foto da arena com tampa plástica protetora, fotos das triagens do material alocado por paracoprídeo; C e D) Ilustrações e fotos para excremento corado, como na descrição anterior; E) Foto de uma arena controle; F) Desenho amostral para avaliação do efeito do corante sobre a atratividade e manipulação do excremento pelos escarabeíneos. 9
- Figura 1 - 2. Média (\pm desvio padrão) da remoção de excremento e da alocação do material removido de acordo com as guildas funcionais entre os tratamentos: NC – excremento não corado; CC – excremento corado. Letras iguais indicam não haver diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$); letras maiúsculas para a remoção total e letras minúsculas para alocação feita pelas guildas funcionais. 10
- Figura 2 - 1. Mapa de localização das áreas de estudo no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. 20
- Figura 2 - 2. Atributos estruturais da vegetação em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Área -P: área de menor grau de perturbação ambiental; Área +P: área de maior grau de perturbação ambiental. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$). 22
- Figura 2 - 3. Atributos do solo em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Área -P: área de menor grau de perturbação ambiental; Área+P: área de maior grau de perturbação ambiental. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$). 23
- Figura 2 - 4. (A) Montagem das arenas utilizadas para coleta de escarabeíneos e avaliação da função de remoção de carcaça e excremento e arenas sendo protegidas da ação de vertebrados com tela de arame. (B) Desenho amostral para coleta de escarabeíneos e avaliação da função de remoção de carcaça em novembro e dezembro de 2013 e remoção de excremento em janeiro de 2014 em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. 25

Figura 2 - 5. Diagrama de distribuição da abundância (log x+1) e biomassa total (g) das espécies de escarabeíneos necrófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. A: área menos perturbada; B: área mais perturbada; Ct: *Canthidium* aff. *trinodosum*; Cl: *Canthon luctuosus*; Cr: *Canthon rutilans cyanescens*; Cs: *Coprophanaeus saphirinus*; Dmo: *Deltochilum morbiliosum*; Dmu: *Deltochilum multicolor*; Dr: *Deltochilum rubripenne*; Ds: *Dichotomius sericeus*; e U: *Uroxys* sp..... 29

Figura 2 - 6. Riqueza, abundância e biomassa média por ponto amostral (\pm erro padrão) da comunidade de escarabeíneos necrófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada; P: guilda dos paracoprídeos; e T: guilda dos telecoprídeos. . 30

Figura 2 - 7. Diagrama de distribuição da abundância (log x+1) e biomassa (g) das espécies de escarabeíneos coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. A: área menos perturbada; B: área mais perturbada; Ct: *Canthidium* aff. *trinodosum*; Cl: *Canthon luctuosus*; Cr: *Canthon rutilans cyanescens*; Cs: *Coprophanaeus saphirinus*; Dmu: *Deltochilum multicolor*; Ds: *Dichotomius sericeus*; Ep: *Eurysternus parallelus*; Ps: *Phanaeus splendidulus*; e U:- *Uroxys* sp..... 31

Figura 2 - 8. Riqueza, abundância e biomassa média por ponto amostral (\pm erro padrão) para comunidade de escarabeíneos coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada; P: guilda dos paracoprídeos; T: guilda dos telecoprídeos e; E: guilda dos endocoprídeos. 32

Figura 2 - 9. Remoção de carcaça por ponto amostral (média \pm erro padrão) realizada pelos escarabeíneos necrófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada. As letras indicam diferenças significativas, maiúsculas para avaliação da remoção e minúsculas para avaliação da alocação por guilda funcional.*Marginalmente significativo ($p=0,06$). 33

Figura 2 - 10. Remoção de excremento por ponto amostral (média \pm erro padrão) realizada pelos escarabeíneos coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada. As letras indicam diferenças significativas, maiúsculas para

avaliação da remoção e minúsculas para avaliação da alocação por guilda funcional. 34

Figura 2 - 11. Análise de particionamento hierárquico da variação da remoção com: (A) distribuição da porcentagem dos efeitos independentes dos atributos estruturais de comunidade e (B) de guildas funcionais dos escarabeíneos necrófagos; (C e D) dos escarabeíneos coprófagos. Barras em cinza representam efeito significativo do atributo estrutural ($p < 0,05$); R_{dev}^2 é o total da variação dos dados explicado pelo modelo; S: riqueza; N: abundância; B: biomassa; SP: riqueza de paracoprídeos; NP: abundância de paracoprídeos; BP: biomassa de paracoprídeos; ST: riqueza de telecoprídeos; NT: abundância de telecoprídeos; e BT biomassa de telecoprídeos. 35

Figura 3 - 1. Arenas de avaliação e quantificação das funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar de escarabeíneos: (A) arena para os telecoprídeos com 30 g de excremento corado, divididos em três porções de 10 g cada - uma com 60 sementes artificiais de tamanho pequeno (2mm), uma com 10 sementes artificiais de tamanho médio (5mm) e uma sem sementes; (B) arena fechada com tecido tipo véu e (C) protegida da ação da chuva; D, E e F ilustram a mesma sequência para as arenas dos paracoprídeos. 52

Figura 3 - 2. (A) setas indicam as bolas de alimentação confeccionadas pelos telecoprídeos, círculo indica o excremento não removido; (B) bola de alimentação confeccionada por *Canthon rutilans cyanescens*, seta indica como o tamanho foi medido; (C) setas indicam os túneis construídos pelos paracoprídeos; (D) seta indica como a profundidade dos túneis foi medida; (E) seta indica como a abertura dos túneis foi medida e demonstra o material amórfico alocado no interior dos túneis. 55

Figura 3 - 3. Capacidade funcional de remoção de excremento e de alocação do excremento removido por *Canthon rutilans cyanescens* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey). 58

Figura 3 - 4. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes pequenas e alocação dessas sementes nas bolas de alimentação confeccionadas por casais e grupos de *Canthon rutilans cyanescens* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey). 59

Figura 3 - 5. Capacidade funcional de dispersão secundária de semente grande efetuada por casais e grupos de *Canthon rutilans cyanescens* em dois, sete e 21

dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey). 61

Figura 3 - 6. Capacidade funcional de remoção de excremento e alocação do excremento removido por *Deltochilum multicolor* em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$). 62

Figura 3 - 7. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes pequenas e grandes e alocação das sementes pequenas nas bolas de alimentação confeccionadas pelos casais de *Deltochilum multicolor* em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$). 63

Figura 3 - 8. Capacidade funcional de remoção de excremento e de alocação do excremento removido por *Dichotomius sericeus* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey). 65

Figura 3 - 9. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes pequenas e alocação dessas sementes nos túneis subterrâneos construídos por casais e grupos de *Dichotomius sericeus* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey). 66

Figura 3 - 10. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes grandes e alocação dessas sementes nos túneis subterrâneos construídos por casais e grupos de *Dichotomius sericeus* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey). 67

Figura 3 - 11. Profundidade de enterrio de sementes pequenas e grandes dispersadas por *Dichotomius sericeus* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey). 69

Figura 3 - 12. Capacidade funcional de remoção de excremento e alocação do excremento removido *Phanaeus splendidulus* em dois e sete dias de exposição

ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).....	71
Figura 3 - 13. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes pequenas e grandes e alocação dessas sementes nos túneis subterrâneos construídos por casais de <i>Phanaeus splendidulus</i> em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$).....	72
Figura 3 - 14. Profundidade de enterrio de sementes pequenas e grandes dispersadas por <i>Phanaeus splendidulus</i> em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).....	73
Figura 3 - 15. Resultado da análise comparativa da capacidade funcional entre os casais das espécies <i>Canthon rutilans cyanescens</i> (Cr), <i>Deltochilum multicolor</i> (Dm), <i>Dichotomius sericeus</i> (Ds) e <i>Phanaeus splendidulus</i> (Ps). Letras e cores diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).	75
Figura 3 - 16. Resultado da análise comparativa da capacidade funcional de remoção de excremento por biomassa padronizada em 1 g das espécies <i>Canthon rutilans cyanescens</i> (Cr), <i>Deltochilum multicolor</i> (Dm), <i>Dichotomius sericeus</i> (Ds) e <i>Phanaeus splendidulus</i> (Ps). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 - 1. Espécies de escarabeíneos necrófagos e coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil no verão de 2013/2014: Área -P área de menor grau de perturbação ambiental; Área+P área de maior grau de perturbação ambiental. *Biomassa e comprimento individual médio (\pm desvio padrão).....	28
Tabela 2 - 2. Atributos ecológicos das comunidades de escarabeíneos necrófagos e coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica na Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.	29

Tabela 3 - 1. Resumo dos tratamentos conduzidos para descrever a capacidade funcional das espécies *Canthon rutilans cyanescens* e *Deltochilum multicolor* (telecoprídeos) e por *Dichotomius sericeus* e *Phanaeus splendidulus* (paracoprídeos) e avaliar o efeito do período de exposição ao recurso e o efeito da densidade de indivíduos sobre as funções ecológicas associadas ao seu comportamento alimentar..... 54

Tabela 3 - 2. Número, diâmetro e peso das bolas de alimentação confeccionadas por *Canthon rutilans cyanescens* de acordo com a densidade e o período de exposição ao recurso. Na coluna, letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey). 61

Tabela 3 - 3. Número, diâmetro e peso das bolas de alimentação confeccionadas por *Deltochilum multicolor* de acordo o período de exposição ao recurso. 64

Tabela 3 - 4. Número, diâmetro e profundidade dos túneis construídos por *Dichotomius sericeus* de acordo com a densidade e o período de exposição ao recurso. Na coluna, letras indicam diferenças significativas entre os tratamentos. 70

Tabela 3 - 5. Número, diâmetro e profundidade dos túneis construídos por *Phanaeus splendidulus* de acordo com o período de exposição ao recurso. Na coluna, letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$)..... 73

SUMÁRIO

RESUMO.....	xi
APRESENTAÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1: Nota científica a ser submetida para publicação na revista <i>The Coleopteristis Bulletin</i>	5
MÉTODO PARA AVALIAR A FUNÇÃO ECOLÓGICA DE REMOÇÃO DE EXCREMENTOS EFETUADA POR ESCARABÉINEOS (COLEOPTERA: SCARABAEINAE) COM TÉCNICA DE COLORAÇÃO.....	5
Resumo.....	5
Agradecimentos.....	11
Referências bibliográficas.....	12
CAPÍTULO 2: artigo a ser submetido para publicação na revista <i>Environmental Entomology</i>	15
PERDA DE FUNÇÕES ECOLÓGICAS DESEMPENHADAS POR ESCARABÉINEOS EM ÁREAS DE MATA ATLÂNTICA E CONTRIBUIÇÃO DOS PARACOPRÍDEOS E DOS TELECOPRÍDEOS NA REMOÇÃO DE MATERIA ORGÂNICA.....	15
Resumo.....	15
Introdução.....	16
Métodos.....	19
Área de estudo.....	19
Coleta de Scarabaeinae e dos dados de remoção de carcaça e excremento.....	23
Análise das comunidades de Scarabaeinae e avaliação da função de remoção de carcaça suína e excremento de cachorro doméstico.....	25

Resultados.....	26
Estrutura e atributos ecológicos da comunidade de escarabeíneos.....	26
Remoção de carcaça e de excremento	32
Discussão	36
Agradecimentos	39
Referências bibliográficas.....	40
Capítulo 3: artigo a ser submetido para revista <i>Animal Behaviour</i>	47
Descrição quantitativa das funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar dos besouros escarabeíneos <i>Canthon rutilans cyanescens</i> (Harold 1868), <i>Deltochilum multicolor</i> Balthasar 1939, <i>Dichotomius sericeus</i> (Harold 1867) e <i>Phanaeus splendidulus</i> (Fabricius 1781).....	47
Resumo:	47
Introdução.....	48
Métodos	51
Área de estudo e desenho experimental.....	51
Quantificação das funções ecológicas	53
Análise dos dados	55
Resultados.....	56
Descrição quantitativa da remoção de excremento e análise da influência do período de exposição e da densidade sobre a capacidade funcional de <i>Canthon rutilans cyanescens</i> (Harold, 1868)	56
Descrição quantitativa da remoção de excremento e análise da influência do período de exposição sobre a capacidade funcional de <i>Deltochilum multicolor</i> Balthasar 1939.....	61
Descrição quantitativa da remoção de excremento e análise da influência do período de exposição e da densidade sobre a capacidade funcional de <i>Dichotomius sericeus</i> (Harold 1867)	64

Descrição quantitativa da remoção de excremento e análise da influência do período de exposição sobre a capacidade funcional de <i>Phanaeus splendidulus</i> (Fabricius 1781)	70
Análise comparada da capacidade funcional dos casais expostos ao recurso por dois e sete dias e correlação entre a remoção do excremento e a dispersão secundária de sementes	74
Discussão.....	76
Agradecimentos.....	79
Referências bibliográficas	80
CONCLUSÕES GERAIS.....	85
ANEXO I.....	87
Lista de espécies de escarabeíneos atraídas por excremento não corado e por excremento corado na Unidade de Conservação Ambiental Desterro, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.	87
ANEXO II.....	88
Lista de espécies de árvores (DAP > 5 cm) em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, inseridas no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil em agosto de 2014. N: abundância da espécie por área; IVI: Índice de valor de importância por área; A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada. Espécies identificadas por <i>Cassio Daltrini Neto</i>	88
ANEXO III.....	91
Temperatura e precipitação média (\pm desvio padrão) no período da avaliação das funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar dos escarabeíneos conforme o tratamento. Valores obtidos a partir da estação meteorológica 1006 em Florianópolis, SC. Fonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)....	91

APRESENTAÇÃO

Este trabalho é o resultado de uma pesquisa desenvolvida como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia do Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina. A pesquisa investigou aspectos envolvidos na execução das funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar dos escarabeíneos em áreas de Mata Atlântica no sul do Brasil. O trabalho encontra-se dividido em três capítulos complementares, o primeiro no formato de uma nota científica a ser submetido à revista *The Coleopterists Bulletin* por ser de caráter metodológico, o segundo à revista *Environmental Entomology* devido a seu caráter aplicado e o terceiro à revista *Animal Behaviour* por seu caráter comportamental. Sendo assim, estes capítulos seguem a formatação e a estrutura das revistas em que se pretende publicá-los.

Algumas funções ecológicas podem ser consideradas serviços ecossistêmicos quando envolvem o bem estar humano e são passíveis de valoração monetária. No entanto, os serviços ecossistêmicos, assim como as funções ecológicas, também podem ser compreendidos como toda e qualquer atividade desenvolvida por um organismo vivo que interfira nos processos ecossistêmicos naturais. Por este motivo, os serviços ecossistêmicos podem ser entendidos como funções ecológicas, mas, como eles são valorados monetariamente, dependem da caracterização quantitativa que proporciona a compreensão ecológica dos processos ecossistêmicos nos quais estão envolvidos. Os serviços são subdivididos em quatro categorias ou funções ecossistêmicas, umas das divisões mais recentes compreende uma hierarquia, com uma função ecossistêmica primária e três funções ecossistêmicas secundárias. Nessa divisão, a função ecossistêmica de suporte é a base das demais funções, que são: a função de provisão, que compreende a produção de água, alimento, fibras e recursos madeireiros; a função de regulação, que compreende a purificação da água, do ar, o controle de doenças e desastres naturais; a função cultural, que compreende aspectos estéticos, espirituais e de recreação. Quanto à função de suporte, esta é a base dos serviços ecossistêmicos, pois envolve a produção primária, a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e a formação dos solos. Os escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae), modelo ecológico neste trabalho, devido ao seu comportamento alimentar, atuam principalmente nessa função de suporte.

Os escarabeíneos apresentam diversos hábitos alimentares, mas a maioria são copro-necrófagos e compreendem um importante grupo focal na investigação ecológica, com destaque para abordagens sobre o funcionamento dos ecossistemas. Eles ainda podem ser classificados em guildas funcionais de acordo com a aquisição e manipulação dos recursos para alimentação ou nidificação: na guilda dos paracoprídeos os insetos alocam o alimento em túneis subterrâneos imediatamente abaixo da fonte do recurso; na guilda dos telecoprídeos eles confeccionam bolas de alimento que podem ser utilizadas na nidificação e as rodam a certa distância da fonte para enterrá-las e, por fim, na guilda dos endocoprídeos eles se alimentam e nidificam diretamente na fonte do recurso. O comportamento alimentar destes insetos tem implicações positivas no funcionamento dos ecossistemas: ao se alimentarem, contribuem diretamente com a decomposição da matéria orgânica e com a ciclagem de nutrientes, além de executarem dispersão secundária de sementes, aeração e revolvimento dos solos, bem como controle biológico de alguns patógenos que tenham ao menos uma fase de seu ciclo de desenvolvimento em excrementos ou carcaças.

O capítulo 1 subsidia os demais capítulos, pois para quantificar e analisar os aspectos envolvidos na remoção, principalmente a de excremento, foi necessário desenvolver uma metodologia que facilitasse a visualização deste material após a alocação realizada por espécies que enterram o recurso, chamadas de paracoprídeas. Em setembro de 2013, arenas com excremento corado e arenas com excremento não corado foram expostas em campo, na Unidade de Conservação Ambiental Desterro em Florianópolis, SC e posteriormente, para verificar o efeito do corante, os resultados foram comparados e o uso do corante não teve efeito sobre a atratividade e manipulação do recurso por parte dos escarabeíneos, desta forma permitiu a visualização e quantificação do material alocado e a técnica foi incorporada nos trabalhos seguintes.

No capítulo 2, em duas áreas com diferente grau de perturbação ambiental inseridas em um remanescente de Mata Atlântica localizado no Parque Municipal da Lagoa do Peri, em Florianópolis, SC, as comunidades de escarabeíneos necrófagos (que se alimentam de carne em decomposição) e simultaneamente a remoção de carcaça foram avaliadas em novembro e dezembro de 2013. Nos mesmos pontos amostrais, as comunidades de escarabeíneos coprófagos (que se alimentam de fezes) e simultaneamente a remoção de excremento foram avaliadas em janeiro de 2014. Neste capítulo evidenciamos que os necrófagos são mais sensíveis às diferenças entre

ambientes, ao exibirem menor riqueza e mudanças na dominância de espécies, o que resultou em menor remoção na área de maior grau de perturbação, e assim, a de menor qualidade ambiental (39,6%) em relação à área menos perturbada (75,1%). Os coprófagos não apresentaram diferenças na comunidade nem na remoção efetuada entre as áreas, sendo que em média 80% do recurso fornecido foram removidos após 48 horas. A abundância e biomassa dos telecoprídeos de hábito coprófago foram os atributos de guildas funcionais de maior relevância para a remoção de excremento, porém, os paracoprídeos foram os que mais alocaram tanto carcaça quanto excremento durante a remoção. Nossos resultados evidenciam a alta contribuição dos escarabeíneos na função de regulação dentro dos serviços ecossistêmicos, função diretamente associada à decomposição da matéria orgânica e a ciclagem dos nutrientes.

No capítulo 3, de março a maio de 2014, as quatro espécies mais importantes das comunidades descritas no capítulo 2, por serem abundantes ou comuns, foram investigadas sobre as mesmas condições em campo acerca das suas capacidades funcionais e dos aspectos associados à execução das funções ecológicas relacionadas aos seus comportamentos alimentares. Com este experimento, que envolve uma abordagem de população, descrevemos quantitativamente a capacidade na remoção e alocação de excremento, na dispersão secundária de sementes pequenas (2 mm) e grandes (5 mm), a alocação e a profundidade em que a dispersão foi efetuada por *Canthon rutilans cyanescens* (Harold 1868), *Deltochilum multicolor* Balthasar 1939, *Dichotomius sericeus* (Harold 1867) e *Phanaeus splendidulus* (Fabricius 1781). Também caracterizamos as bolas de alimentação confeccionadas pelas duas primeiras espécies, que são telecoprídeas, e os túneis construídos pelas duas últimas, que são paracoprídeas. Estes dados, inéditos para as quatro espécies, junto aos dados dos capítulos anteriores, podem auxiliar em abordagens de conservação com enfoque funcional, por demonstrar como as funções ecológicas destes besouros são afetadas por pequenas variações no grau de perturbação ambiental e por indicar aspectos-chaves que agem positivamente sobre suas funções e, consequentemente, na manutenção dos serviços ecossistêmicos, principalmente nas funções de suporte e regulação.

CAPÍTULO 1: Nota científica a ser submetida para publicação na revista *The Coleopteristis Bulletin*

MÉTODO PARA AVALIAR A FUNÇÃO ECOLÓGICA DE REMOÇÃO DE EXCREMENTOS EFETUADA POR ESCARABEÍNEOS (COLEOPTERA: SCARABAEINAE) COM TÉCNICA DE COLORAÇÃO

M BATILANI-FILHO¹, MIM HERNÁNDEZ¹

¹Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina.

Resumo

Os escarabeíneos desempenham diversas funções ecológicas que estão associadas principalmente a remoção de carcaças e excrementos. O detalhamento quantitativo da remoção de excremento de acordo com as guildas funcionais é de difícil operacionalização devido à perda de contraste dos excrementos com o solo. Neste trabalho é apresentada uma técnica que soluciona este problema através do uso de corante líquido inodoro, comestível, na cor azul, aplicada aos excrementos de cachorro doméstico (40 ml/kg). Para testar o efeito do corante sobre a atratividade ou manipulação dos excrementos pelos escarabeíneos, instalamos em áreas florestais de Mata Atlântica dez pares de arenas de coleta e avaliação: em cada par, uma das arenas foi iscada com 50 g de excremento não corado e outra com 50 g de excremento corado. Após 48 horas de exposição em campo, avaliamos atributos da comunidade e remoção e alocação do excremento removido. A técnica não interferiu na atratividade e nem na manipulação dos excrementos e pode ser adotada em estudos de remoção que visem também detalhar a alocação por guilda funcional por permitir de maneira rápida e eficiente a identificação do material alocado no interior do solo.

Palavras chaves: comportamento, decomposição, grupo funcional, rola-bosta, serviços ecossistêmicos.

Os escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeinae) desempenham diversas funções ecológicas que podem ser interpretadas como serviços

ambientais, por proverem benefícios diretos aos humanos (MEA 2005, Nichols *et al.* 2008). Estes benefícios estão associados à função de remoção de carcaça e de excremento, uma vez que estes besouros se alimentam principalmente destes itens e esse comportamento tem implicações positivas na decomposição da matéria e no ciclo dos nutrientes (Yamada *et al.* 2007, Hanafy 2012), na dispersão secundária de sementes (Vulínek 2002, Andresen 2001, Slade *et al.* 2007), na aeração dos solos e no controle biológico de moscas (Braga *et al.* 2012, Braga *et al.* 2013). Devido a estas funções estarem relacionadas à maneira como se alimentam, quantificar a remoção de excrementos tem sido uma abordagem frequente nos estudos de funções ecológicas desempenhadas pelos escarabeíneos (*e.g.* Klein 1989, Horgan 2001, Slade *et al.* 2007, Amézquita e Favila 2010, Braga *et al.* 2013). No entanto, como os escarabeíneos são classificados em três guildas funcionais de acordo com o comportamento de alocação do recurso para alimentação ou nidificação, isso implica em capacidade diferenciada para a execução dessas funções ecológicas. Dessas três guildas, os paracoprídeos (tuneleiros) compreendem os insetos que alocam o recurso em galerias subterrâneas imediatamente abaixo da fonte do recurso; os telecoprídeos (rodadores) alocam o recurso em bolas que serão utilizadas na alimentação ou nidificação e as rodam a certa distância da fonte para posterior enterrio; e os endocoprídeos (residentes) consomem e nidificam diretamente na fonte do recurso (Halffter e Edmonds 1982). Dessas guildas, os paracoprídeos e telecoprídeos são mais efetivos na remoção de excrementos.

Para entender a dinâmica das funções ecológicas dos escarabeíneos é preciso quantificar a partilha do recurso entre essas guildas funcionais. Entretanto, esse detalhamento é difícil, pois o material alocado nas galerias dos paracoprídeos perde a coloração original e apresenta baixo contraste com o solo. A utilização de excrementos de vacas, de coloração verde, como em alguns estudos de remoção (*e.g.* Klein 1989, Horgan 2001, Yamada *et al.* 2007, Amézquita e Favila 2010), fornece maior contraste dos excrementos com o solo, porém, este recurso é recomendado para ambientes de pastagem, pois em áreas de floresta existe preferência dos escarabeíneos por excrementos de animais onívoros (Filgueiras *et al.* 2009, Bogoni e Hernández 2014). Nos fragmentos de Mata Atlântica do sul do Brasil, o cachorro-do-mato *Cerdocyon thous* (Linnaeus 1766) é um onívoro nativo comum (Graipel *et al.* 2001, Cherem *et al.* 2004) e tolerante, inclusive a ambientes alterados (Dotta e Verdade 2011). Os excrementos desta espécie são um recurso de alta atratividade para os escarabeíneos em Mata Atlântica (Bogoni e Hernández 2014), mas, adquirir este material,

para avaliar experimentalmente a remoção, é pouco exequível. Uma alternativa viável é a utilização de excrementos de cachorro-doméstico (*Canis lupus familiaris*) criados em biotério (Batilani-Filho *et al.* 2014). Este tipo de recurso oferece a vantagem de ser seguro quanto à disseminação de patógenos no ambiente natural. Sendo assim, o excremento foi submetido a coloração para obter maior contraste com o solo, visando quantificar a remoção efetuada por paracoprídeos em separado da remoção efetuada por telecoprídeos. Nesta técnica utilizamos excremento de cachorro doméstico criados no Biotério Central da Universidade Federal de Santa Catarina.

A técnica de coloração consistiu em misturar corante líquido inodoro, comestível, na cor azul, aos excrementos de cachorro doméstico (40 ml/kg). Previamente escolhemos a cor azul dentre roxo, amarelo e vermelho, por esta apresentar maior contraste com o solo após a mistura, adquirindo coloração verde. Testamos o efeito do corante sobre a atratividade e manipulação dos excrementos em setembro de 2013, em uma área de Mata Atlântica do sul do Brasil (Unidade de Conservação Ambiental Desterro, Florianópolis, SC), onde foram instalados dez pares de arenas de coleta e avaliação expostas durante 48 horas (Figura 1-1). Cada arena consistiu em um pote plástico de 1,5 L que foi enterrado e preenchido com solo peneirado (mantendo uma margem de 5 cm na borda para que o material alocado e os insetos telecoprídeos ficassem retidos nas arenas) e protegido da chuva com uma tampa plástica suspensa. Manteve-se um espaçamento de 5 m entre os pares e de 30 m entre as dez réplicas. Em cada par, uma das arenas foi iscada com 50 g de excremento não corado e outra com 50 g de excremento corado de azul. Para cada tratamento foram instaladas mais quatro arenas controle das quais foi calculado o valor médio da dissecação natural do excremento e posteriormente este valor foi subtraído dos dados da avaliação da remoção para isolar a contribuição apenas dos escarabeíneos. A arena controle diferia das demais por ter sua abertura vedada com tecido voal, não permitindo a entrada dos insetos.

Depois de 48 horas em campo as arenas foram inspecionadas, sendo observado que os insetos permaneciam ativos na superfície destas arenas, apresentando diversos comportamentos como alimentação, confecção de bolas de alimentação, construção de galerias subterrâneas e combates. Os insetos da superfície foram coletados e o material superficial foi separado em recurso não removido (que permaneceu no centro da arena) e recurso alocado por telecoprídeos, que foram as bolas de alimentação confeccionadas por esta guilda, mas que não foram enterradas. Após este

procedimento as arenas foram tampadas e conduzidas ao laboratório para triagem e diferenciação quantitativa da remoção. A triagem consistiu no uso de um pincel e uma colher para a remoção cautelosa de 1 cm de solo por vez com o objetivo de encontrar o material enterrado pelos paracoprídeos e possíveis bolas enterradas pelos telecoprídeos, bem como os insetos que estavam enterrados. No caso das arenas com excremento não corado, quando o solo apresentava consistência do tipo pastoso, esta porção foi retirada com a colher e a triagem foi transferida para a lupa, devido o baixo contraste com o solo, a fim de isolar apenas o excremento com a utilização de pincéis menores e pinças de laboratório. A triagem nas arenas com excrementos corados seguiu este mesmo protocolo. Em ambos os casos, quando o material apresentou forma esférica a alocação foi atribuída aos telecoprídeos e em caso de aparência amórfica a alocação foi atribuída aos paracoprídeos (Figura 1-1).



Figura 1 - 1. A) Ilustração da arena para a coleta de escarabeíneos e avaliação da remoção de excremento não corado com margem de 5 cm de borda e demonstração das possíveis vias de alocação do excremento removido nas 48 horas de duração da avaliação (telecoprídeo na superfície e/ou paracoprídeo no interior das galerias subterrâneas); B) foto da arena com tampa plástica protetora, fotos das triagens do material alocado por paracoprídeo; C e D) Ilustrações e fotos para excremento corado, como na descrição anterior; E) Foto de uma arena controle; F) Desenho amostral para avaliação do efeito do corante sobre a atratividade e manipulação do excremento pelos escarabeíneos.

As arenas com excremento não corado capturaram 100 indivíduos de 10 espécies e as com corante, 142 indivíduos de nove espécies (ANEXO D), não havendo diferença na riqueza [$t=1,6$; $p=0,5$], na abundância [$t=0,9$; $p=0,3$] e nem na estrutura das comunidades atraídas pelos diferentes tratamentos [ANOSIM $R=0,05$; $p=0,7$]. Quanto à quantidade de excremento

removido, a média de 33,1g de remoção de excremento não corado não diferiu da média de 33,3g de remoção de excremento corado [$t=0,05$; $p=0,9$]. A utilização do corante não teve efeito sobre a alocação do material removido em função da guilda funcional, ou seja, os paracoprídeos enterraram em média 21,7g de excremento não corado, o que não diferiu da média de 15,1g de excremento corado [$t=1,08$; $p=0,3$]; os telecoprídeos alocaram em média 6,8g de excremento não corado, o que também não diferiu da média de 12,4g de alocação de excremento corado [$t=1,72$; $p=0,1$] (Figura 1-2).

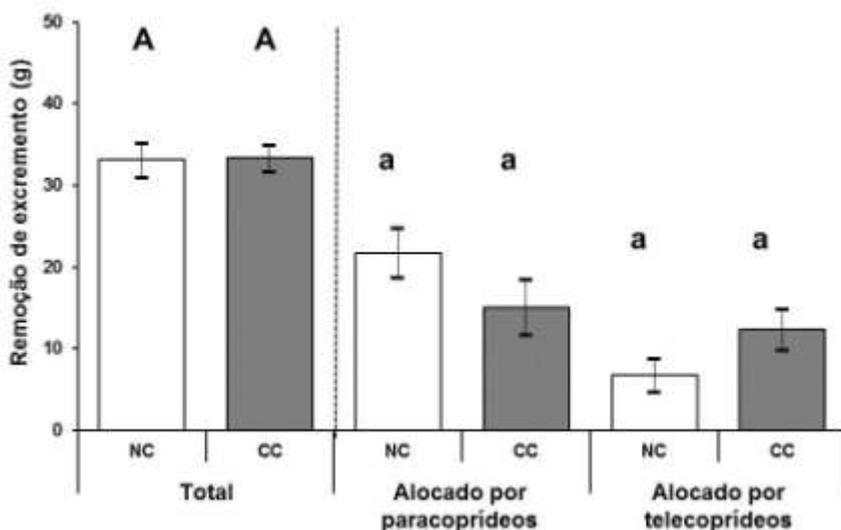


Figura 1 - 2. Média (\pm desvio padrão) da remoção de excremento e da alocação do material removido de acordo com as guildas funcionais entre os tratamentos: NC – excremento não corado; CC – excremento corado. Letras iguais indicam não haver diferença significativa entre os tratamentos ($p>0,05$): letras maiúsculas para a remoção total e letras minúsculas para alocação feita pelas guildas funcionais.

Nossos resultados contribuem com os estudos de avaliação de remoção, pois demonstram que o uso do corante facilita a visualização e acelera a quantificação do excremento e que este procedimento não interfere na atividade das espécies e nem na manipulação do recurso por parte dos escarabeíneos. Tanto a triagem como a identificação da alocação do excremento corado foi mais rápida e eficaz que a do excremento não

corado, que necessariamente precisou do uso de pincéis, pinças e lupa para separá-lo do solo. Além disso, quando o material enterrado foi encontrado, isolá-lo do solo para aferir o peso real da quantidade de excremento, foi mais fácil no caso do excremento corado devido a seu elevado contraste, assim, a proporção do corante utilizada (40ml/kg) foi considerada eficaz. Usando esta técnica é possível diferenciar e quantificar a alocação do material removido dependendo da guilda funcional, se paracoprídea ou telecoprídea, sem precisar manipular a densidade ou restringir o acesso dos organismos para aferir exclusivamente sua participação, como em outros estudos similares (Horgan 2001, Yamada *et al.* 2007, Slade *et al.* 2007, Dangles *et al.* 2012) o que é uma abordagem mais realista, pois as espécies paracoprídeas e telecoprídeas competem pelo recurso ao mesmo tempo. Outra vantagem é que com esta técnica é possível calcular a quantidade de recurso que os escarabeíneos estão realmente utilizando, pois a diferença entre o total removido pela comunidade e o somatório da alocação é referente à quantidade de recurso que foi imediatamente consumida ou fracionada pelos insetos.

Com o uso dessa metodologia é possível à aquisição simultânea de dados para análise da comunidade e da função ecológica, no mesmo período e na mesma arena. Quanto ao tipo de recurso utilizado, devido à alta atratividade do excremento de onívoros, o uso do excremento de cachorros-domésticos em estudos de remoção em áreas de florestas é uma boa alternativa, já que não há diferenças na sua remoção quando comparado com o excremento de onívoros nativos (Batilani-Filho *et al.* 2014). Além disso, esse recurso é de fácil aquisição e, como são animais de biotério, o seu uso é mais seguro quanto à presença de patógenos, permitindo o manuseio e a coloração. Por fim, a coloração do excremento, com detalhamento quantitativo por guilda funcional, pode ser utilizada em estudos que investiguem também outras funções ecológicas associadas à remoção tais como a dispersão secundária de sementes (Vulinec 2002, Andresen 2001, Slade *et al.* 2007), a aeração dos solos e o controle biológico de moscas (Braga *et al.* 2012, Braga *et al.* 2013) e pode ser empregada em qualquer tipo de excremento conforme o objetivo da pesquisa.

Agradecimentos

Agradecemos as contribuições do Dr. Mario E. Favila, Dr. Pedro G. da Silva, Msc. Renata C. Campos e Msc. Juliano A. Bogoni para o desenvolvimento do trabalho e ao Dr. Rodrigo F. Braga pelas sugestões ao

manuscrito. Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo financiamento do projeto “*Dinâmica populacional e ecologia comportamental de besouros decompositores da subfamília Scarabaeinae: importância no funcionamento do ecossistema em fragmentos de Mata Atlântica*” (Processo 479203/2010-5) e pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa ao segundo autor no projeto “*Comportamento de besouros Scarabaeinae e sua função no ciclo de decomposição de matéria orgânica*” (Processo 303800/2010-0).

Referências bibliográficas

- Amézquita S., and M. E. Favila. 2010.** Removal rates of native and exotic dung by dung beetles (Scarabaeidae: Scarabaeinae) in a fragmented tropical rain forest. *Environmental Entomology* 39: 328-36. doi: 10.1603/EN09182
- Andresen, E. 2001.** Effects of dung presence, dung amount and secondary dispersal by dung beetles on the fate of *Micropholis guyanensis* (Sapotaceae) seeds in Central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 17: 61-78. doi: 10.1017/S0266467401001043
- Batilani-Filho, M., M. Batista, B. Romeu, E. Bécker, M. I. M. Hernández, and M. E. Favila. 2014.** Eficiência de escarabeíneos tuneleiros e rola-dores na remoção de fezes de mamíferos em Floresta Ombrófila Densa [pp.105-113]. *In: Ecologia de campo: abordagens no mar, na terra e em águas continentais* (Batilani-Filho, M., L. Zanette-Silva, B. Segal, and M. I. M. Hernández, editors). UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.
- Bogoni, J. Á., and M. I. M. Hernández. 2014.** Attractiveness of native mammals feces of different trophic guilds to dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). *Journal of Insect Science* 14 (299). doi: 10.1093/jisesa/ieu161.
- Braga, R. F., V. Korasaki, E. Andresen, and J. Louzada. 2013.** Dung beetle community and functions along a habitat-disturbance gradient in the Amazon: a rapid assessment of ecological functions associated to biodiversity. *PLoS One* 8:e57786. doi: 10.1371/journal.pone.0057786
- Braga, R. F., V. Korasaki, L. D. Audino, and J. Louzada. 2012.** Are dung beetles driving dung-fly abundance in traditional agricultural

areas in the Amazon? *Ecosystems* 15: 1173-1181. doi: 10.1007/s10021-012-9576-5

- Cherem, J. J., P. C. Simões-Lopes, S. Althoff, and M. E. Graipel. 2004.** Lista dos mamíferos do estado de Santa Catarina , sul do Brasil. *Mastozoología Neotropical* 11: 151-184.
- Clarke, K. R. 1993.** Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143.
- Dangles, O., C. Carpio, and G. Woodward. 2012.** Size-dependent species removal impairs ecosystem functioning in a large-scale tropical field experiment. *Ecology* 93(12): 2615-2625.
- Dotta, G., and L. M. Verdade. 2011.** Medium to large-sized mammals in agricultural landscapes of south-eastern Brazil. *Mammalia* 75: 345-352. doi: 10.1515/MAMM.2011.049.
- Filgueiras, B. K. C., C. N. Liberal, C. D. M. Aguiar, M. I. M. Hernández, and L. Iannuzzi. 2009.** Attractivity of omnivore, carnivore and herbivore mammalian dung to Scarabaeinae (Coleoptera , Scarabaeidae) in a tropical Atlantic rainforest remnant. *Revista Brasileira de Entomologia* 53: 42-427.
- Graipel, M. E., J. J. Cherem, and A. Ximenez. 2001.** Mamíferos terrestres não voadores da Ilha de Santa Catarina, sul do Brasil. *Biotemas* 14: 109-140.
- Halfpiter, G., and W. D. Edmonds. 1982.** The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): an ecological and evolutive approach. Mexico, Man and the Biosphere Program Unesco.
- Hanafy, H. E. M. 2012.** Effect of dung beetles, *Scarabaeus sacer* (Scarabaeidae: Scarabaeinae) on certain biochemical contents of leaves and fruits of tomato and squash plants. *Journal of Applied Sciences Research* 8(10): 4927-4936.
- Horgan, F. G. 2001.** Burial of bovine dung by coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from horse and cow grazing sites in El Salvador. *European Journal of Soil Biology* 37: 103-111. doi: 10.1016/S1164-5563(01)01073-1
- Klein, B. C. 1989.** Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. *Ecology* 70: 1715-1725.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005.** Ecosystems and human well-being. Island Press, Washington, DC.
- Nichols, E., S. Spector, J. Louzada, S. Amézquita, and M. E. Favila. 2008.** Ecological functions and ecosystem services provided by

Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation* 141: 1461-1474. doi: 10.1016/j.biocon.2008.04.011

Slade, E. M., D. J. Mann, J. F. Villanueva, and O. T. Lewis. 2007. Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. *Journal of Animal Ecology* 76: 1094-104. doi: 10.1111/j.1365-2656.2007.01296.x

Vulinec, K. 2002. Dung beetle communities and seed dispersal in primary forest and disturbed land in Amazonia dung beetle communities and seed dispersal in primary forest. *Biotropica* 34: 297-309.

Warton, D. I., T. W. Wright, Y. Wang. 2012. Distance-based multivariate analyses confound location and dispersion effects. *Methods in Ecology and Evolution* 3: 89-101.

Yamada, D., O. Imura, K. Shi, and T. Shibuya. 2007. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *Grassland Science* 53: 121-129. doi: 10.1111/j.1744-697X.2007.00082.x

**PERDA DE FUNÇÕES ECOLÓGICAS DESEMPENHADAS
POR ESCARABÉINEOS EM ÁREAS DE MATA
ATLÂNTICA E CONTRIBUIÇÃO DOS PARACOPRÍDEOS
E DOS TELECOPRÍDEOS NA REMOÇÃO DE MATERIA
ORGÂNICA**

MOACYR BATILANI-FILHO¹ and MALVA. I. M. HERNÁNDEZ

Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SC., Brasil.

Resumo

O comportamento alimentar dos besouros da subfamília Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae), que envolve hábitos copro-necrófagos, tem implicações positivas no funcionamento dos ecossistemas. Eles podem ser divididos em três guildas funcionais: paracoprídeos, telecoprídeos e endocoprídeos. Neste trabalho, caracterizamos as comunidades de escarabéineos necrófagos e coprófagos e quantificamos a remoção de carcaça suína e de excremento de cachorro doméstico em duas áreas com diferente grau de perturbação ambiental evidenciado através da composição florística e de atributos estruturais da vegetação e do solo. Estas áreas se encontram em um remanescente de Mata Atlântica localizado em Florianópolis, SC, dentro do Parque Municipal da Lagoa do Peri. Em novembro e dezembro de 2013, montamos o experimento em oito pontos amostrais em cada área instalando, dentro de cada ponto, duas arenas de coleta de escarabéineos necrófagos e uma arena controle, que foram iscadas com 50 g de carne suína em putrefação e expostas em campo por 48 horas, onde fizemos também a avaliação simultânea de remoção da carcaça nas mesmas arenas. Adotando o mesmo desenho amostral, em janeiro de 2014, com 50 g de excremento de cachorro doméstico em cada arena, avaliamos a comunidade dos coprófagos e a remoção deste excremento. Nossos resultados indicaram que os necrófagos foram mais sensíveis às diferenças ambientais entre as áreas ao apresentarem menor riqueza e mudanças na

dominância de espécies, o que resultou em menor remoção na área mais perturbada e de menor qualidade ambiental (39,6%) em relação à área menos perturbada (75,1%). As comunidades de escarabeíneos coprófagos foram similares em estrutura e remoção entre as áreas, aproximadamente 80% do recurso oferecido foi removido. Na avaliação da influência da riqueza, da abundância e da biomassa, tanto das comunidades quanto das guildas funcionais sobre a remoção, apenas a abundância e a biomassa dos telecoprídeos foram os atributos que influenciaram positivamente na remoção, quando o recurso foi o excremento. Estes resultados demonstram as implicações da degradação do ambiente sobre as funções dos escarabeíneos, que respondem de maneira diferenciada de acordo com o recurso que utilizam, e reforça a importância desses besouros na função de suporte, associada à decomposição da matéria orgânica e à ciclagem dos nutrientes, dentro dos serviços ecossistêmicos.

Palavras-chaves: decomposição, ecologia, guilda funcional, Scarabaeinae, serviços ecossistêmicos.

Introdução

Os insetos escarabeíneos têm sido utilizados na investigação de diversos temas em ecologia, incluindo a execução de funções ecológicas e manutenção de serviços ecossistêmicos (Slade et al. 2007, Nichols et al. 2008, Dangles et al. 2012). Estes serviços podem ser entendidos como toda atividade executada por um organismo vivo que interfira nos processos naturais como, por exemplo, a ciclagem de nutrientes, a formação e manutenção dos solos, a polinização, a dispersão de sementes e o controle biológico (Myers 1996, Daily 1997). Através das funções ecológicas, os organismos proporcionam elementos para o funcionamento dos sistemas e, direta ou indiretamente, geram benefícios para a população humana que podem ser mensurados e valorados, tornando-se serviços ecossistêmicos (De Groot et al. 2002, MEA 2005). Dentro dos serviços ecossistêmicos os escarabeíneos atuam na função de regulação através da remoção de carcaça e de excrementos para alimentação ou nidificação. Este comportamento alimentar têm efeitos diretos sobre a decomposição da matéria orgânica e sobre os ciclos dos nutrientes (Halffter e Matthews 1966) e é fortemente associado a outras funções ecológicas como dispersão secundária de sementes (Andresen 2001, 2003, Vulinec 2002), aeração dos solos e controle biológico de moscas (Braga et al. 2012, 2013). Como o ciclo dos

nutrientes e a formação dos solos estão primariamente associados ao funcionamento dos ecossistemas, as funções que interferem nestes processos foram hierarquicamente categorizadas na função ecossistêmica de suporte, que é à base das demais funções, reforçando sua importância na manutenção dos ecossistemas e do bem estar humano (MEA 2005).

A subfamília Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) compreende mais de 7.000 espécies (ScarabNet 2013) de hábito principalmente copro-necrófago. A coprofagia, hábito de se alimentar de excrementos de outros animais, evoluiu com os vertebrados, inicialmente em dependência com os dinossauros (Chin e Gill 1996) e após a diversificação dos mamíferos encontra-se atualmente fortemente associado a este grupo (Scholtz et al. 2009, Nichols et al. 2009, Barlow et al. 2010, Culot et al. 2013). Algumas espécies de escarabeíneos podem apresentar certo grau de especificidade ou preferência a um tipo de excremento, no entanto, a maioria prefere excrementos de mamíferos onívoros (Filgueiras et al. 2009, Amézquita e Favila 2010, Whipple e Hoback 2012, Puker et al. 2013; Bogoni e Hernández 2014). Quanto à necrofagia, a inclusão de este hábito alimentar aos escarabeíneos é um processo evolucionário recente, conduzido pela ausência de grandes mamíferos concomitante com a escassez relativa de outros grupos de insetos que pudessem competir pela carne em decomposição (Halffter e Matthews 1966, Scholtz et al. 2009). Essa inclusão pode ter sido facilitada pela similaridade da composição da carcaça com os excrementos de onívoros e a alta concentração de nitrogênio presente na carne em decomposição (Hanski e Cambefort 1991). Os escarabeíneos também podem ser generalistas e oportunistas, alimentando-se de uma gama de itens disponíveis como frutos em decomposição (Scholtz et al. 2009). Quanto ao o comportamento de alocação do recurso para alimentação ou nidificação os escarabeíneos podem ser classificados ainda em três guildas funcionais: os paracoprídeos (tuneleiros) que alocam o recurso imediatamente abaixo da fonte, enterrando-os em galerias subterrâneas; os telecoprídeos (rodadores) que alocam o recurso em bolas de alimentação ou nidificação, as quais são posteriormente roladas e enterradas a certa distância da fonte; e os endocoprídeos (residentes) que são os que utilizam o recurso diretamente na fonte (Halffter e Matthews 1966, Halffter e Edmonds 1982).

A importância e as implicações dos escarabeíneos e de suas características ecológicas e funcionais na manutenção dos serviços ecossistêmicos têm sido investigada através da quantificação da remoção de excremento (*e.g.* Klein 1989, Horgan 2001, 2005, 2008, Andresen 2003,

Anduaga 2004, Anduaga e Huerta 2007, Slade et al. 2007, Amézquita e Favila 2010, Dangles et al. 2012, Kudavidanage et al. 2012, Braga et al. 2013, Gollan et al. 2013) e, menos comumente, da remoção de carcaça (e.g. Klein 1989, Horgan 2008, Amézquita e Favila 2011). Empiricamente, a redução da diversidade dos escarabeíneos que está associada à perda ou modificação de habitats (Spector 2006, Gardner et al. 2008ab) implica diretamente na redução ou perda de funções ecológicas e serviços ecossistêmicos prestados por este grupo. Esta relação ocorre porque as espécies diferem quanto a sua capacidade de aquisição do recurso, mensurada pela remoção, o que gera padrões distintos na execução das funções ecológicas e por tal, dos serviços ecossistêmicos. Além disso, a execução dessas funções está positivamente relacionada à biomassa ou tamanho corporal dos organismos (Nervo et al. 2014) e também à complementariedade das espécies e das guildas funcionais (Slade et al. 2007), fatores que são comprometidos com a redução da diversidade, que por sua vez, pode ser reflexo da degradação ambiental.

Uma vez que os escarabeíneos são importantes para a manutenção das funções de regulação e suporte dentro dos serviços ecossistêmicos e que sua diversidade é comprometida pela alteração da qualidade do ambiente, entender quantitativamente como estes insetos respondem a variações sutis na qualidade do ambiente pode ser considerado um importante passo para elucidar a dinâmica do ciclo dos nutrientes e as implicações no processo de decomposição em que estes organismos estão envolvidos (Amézquita e Favila 2010, 2011). Neste sentido, o objetivo deste estudo foi caracterizar a comunidade de escarabeíneos necrófagos e coprófagos em duas áreas com diferenças no grau de perturbação ambiental em um remanescente de Mata Atlântica no sul do Brasil. Simultaneamente, objetivamos avaliar a função ecológica de remoção, de acordo com o hábito alimentar e as guildas funcionais, quantificando a remoção de carcaça suína e de excremento de cachorro doméstico efetuada por estas comunidades, descrevendo quantitativamente como atuam os paracoprídeos e os telecoprídeos na execução destas funções. Nossas predições foram de que, independente do recurso oferecido, carcaça ou excremento, as comunidades seriam menos diversas nos ambientes mais perturbados e que isso implicaria em perda de função ecológica.

Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Parque Municipal da Lagoa do Peri (entre 27°42'30" e 27°46'30" de latitude Sul e entre 48°30'00" e 48°33'30" de longitude Oeste), localizado em Florianópolis, na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. O clima da região apresenta características inerentes ao litoral Sul brasileiro e segundo os critérios de Köppen, a classificação climática é do tipo Cfa (Clima Mesotérmico Úmido) sem estação seca e com verão quente. Situada na zona intermediária subtropical, pertence ao grupo mesotérmico úmido "C", com a temperatura média do mês mais frio sendo maior do que 3 °C e menor que 18 °C e a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (Santos et al. 1989).

O parque foi criado em 1981 (Lei Municipal nº 1.828/81), regulamentado em 1982 (Decreto Municipal nº 091/82) e é administrado pela Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis (FLORAM), possuindo cerca de 20 Km² que foram zoneados em Área de Reserva Biológica, Área de Paisagem Cultural e Área de Lazer. Dentro deste zoneamento, a área de Reserva Biológica abriga um grande remanescente de Floresta Ombrófila Densa com diferentes estágios de regeneração, sendo que os topos dos morros ainda abrigam remanescentes primários da vegetação original. A agricultura e extração de madeira foram práticas comuns no passado e promoveram intenso desmatamento, mas devido à redução dessas atividades, hoje o parque apresenta um mosaico com diferentes estágios de regeneração (Santos et al. 1989, Cardoso et al. 2008). Em função deste histórico, para a execução do trabalho foram escolhidas duas áreas, uma na porção norte (Área 1) e outra na porção sudeste do parque (Área 2), distanciadas por aproximadamente 3 km e separadas pela lagoa (Figura 2-1).

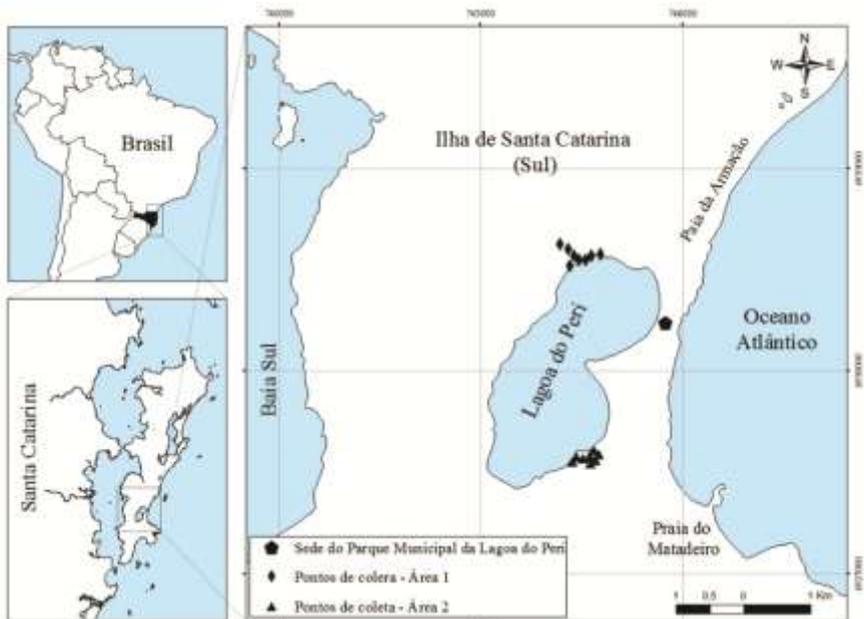


Figura 2 - 1. Mapa de localização das áreas de estudo no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Caracterização ambiental das áreas de estudo

Como a finalidade de evidenciar empiricamente as diferenças na qualidade ambiental das duas áreas investigadas, em agosto de 2014, foi realizado um estudo de caracterização que envolveu a composição florística, os atributos estruturais da vegetação (altura das árvores, área basal, diâmetro da copa, comprimento da copa, porcentagem de copa e cobertura do dossel) e as características do solo (porcentagem de solo exposto, porcentagem de serapilheira, porcentagem de cobertura verde e penetrabilidade do solo). Esta caracterização contemplou três parcelas de 100 m² distanciadas por aproximadamente 200 m dentro de cada uma das áreas. Assim, foram registrados 125 indivíduos arbóreos de 40 espécies sendo que ambas as áreas estão em estágio médio de regeneração, com algumas espécies indicadoras de estágio avançado de regeneração (CONAMA n^o 4/94) (lista de espécies de árvores ver ANEXO II). Na área 1 foram encontradas 23 espécies arbóreas, das quais 14 foram exclusivas e 11 espécies somaram mais de 70% do índice de valor de importância; na área 2

foram encontradas 27 espécies, das quais 16 foram exclusivas e nove espécies foram responsáveis por mais de 62% do valor do IVI. Dez espécies foram comuns entre as duas áreas, no entanto, destas espécies apenas três (*Pera glabrata*, *Casearia sylvestris* e *Machaerium stipitatum*) apresentaram IVI superior a 10% em ambos os locais, assim estas comunidades são diferentes na composição de espécies, o que foi confirmado pelo valor de 25% de similaridade, medido através do índice de similaridade de Jaccard.

Quanto aos parâmetros estruturais da vegetação e do solo, a porcentagem de copa e a cobertura do dossel foram maiores na área 1 e a porcentagem de serapilheira e a força empregada para a penetrabilidade do solo foram maiores na área 2 (Figura 2-2; Figura 2-3). Estes dados de campo, aliados ao histórico de ocupação das duas áreas, permitiu a classificação da área 1 como sendo a área de menor grau de perturbação ambiental e a área 2, por ser um ambiente mais aberto e com o solo mais compacto e ser utilizada mais intensamente por turistas em relação à área 1, foi classificada como uma área de maior grau de perturbação, e por tal, de menor qualidade ambiental.

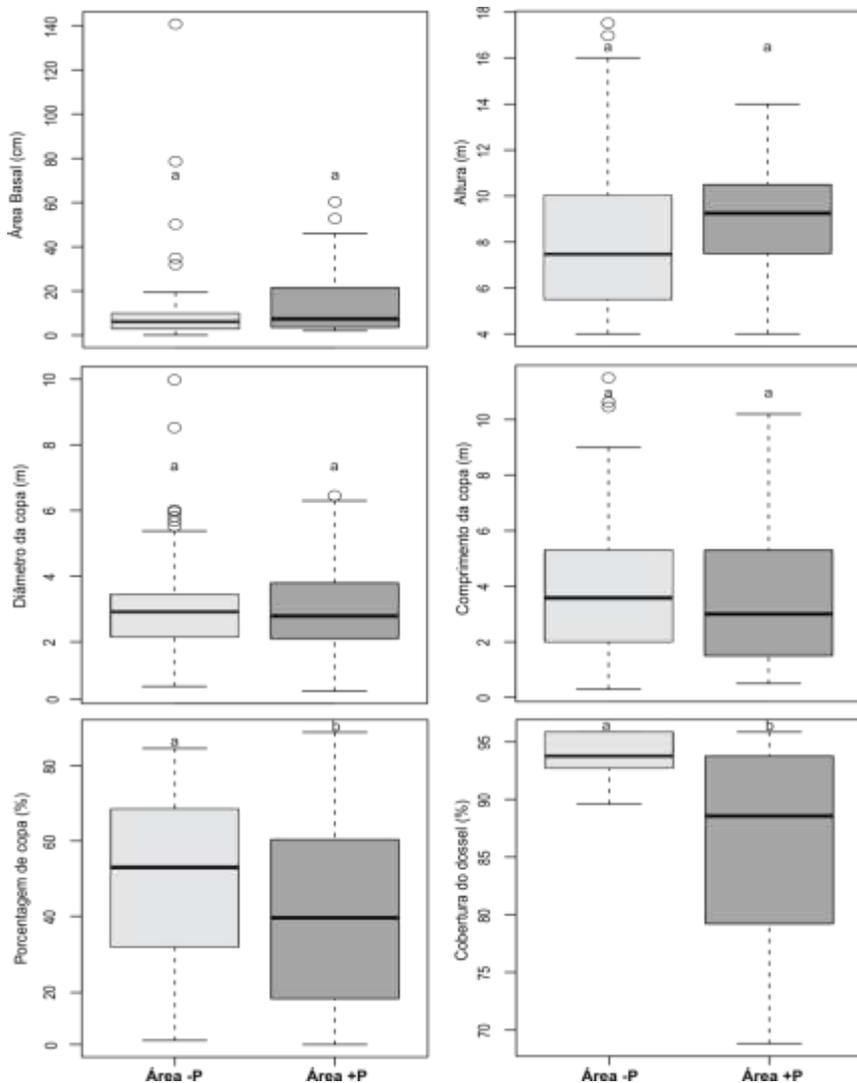


Figura 2 - 2. Atributos estruturais da vegetação em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Área -P: área de menor grau de perturbação ambiental; Área +P: área de maior grau de perturbação ambiental. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

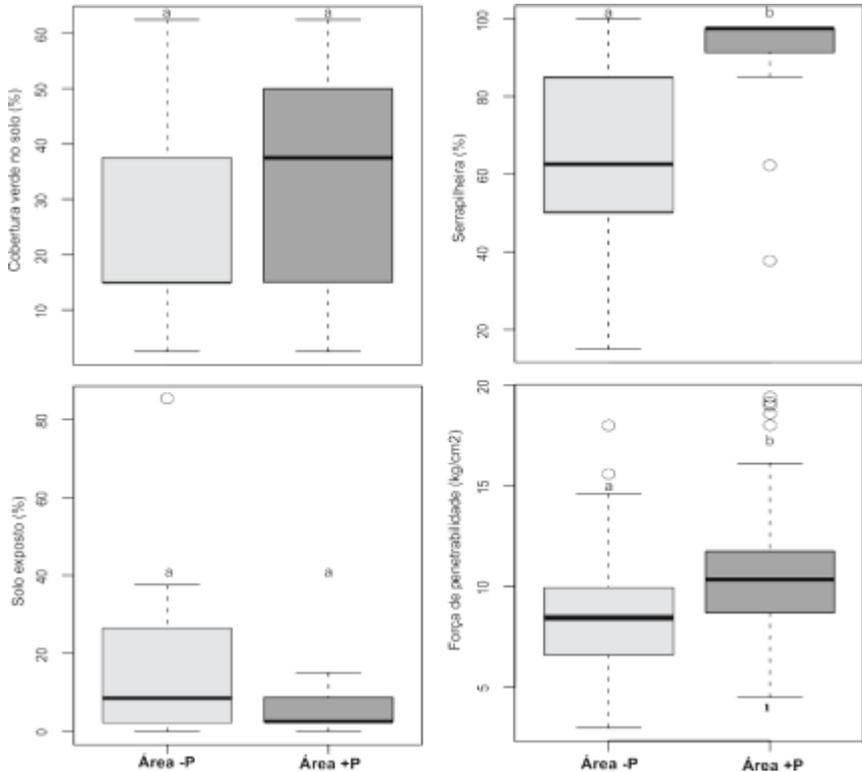


Figura 2 - 3. Atributos do solo em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Área -P: área de menor grau de perturbação ambiental; Área+P: área de maior grau de perturbação ambiental. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Coleta de Scarabaeinae e dos dados de remoção de carcaça e excremento

Em cada área foram estabelecidos oito pontos amostrais separados por aproximadamente 100 m e em cada ponto foram instaladas três arenas de coleta de escarabeíneos e avaliação de remoção, separadas por 10 m. A arena de coleta e avaliação consistiu em um pote plástico de 1,5 L enterrado, preenchido com solo peneirado, mas mantendo-se uma margem

de 5 cm na borda para que o material alocado e os telecoprídeos ficassem retidos na arena. Para proteção da chuva foi colocada uma tampa plástica suspensa e para evitar a ação de vertebrados foi colocada uma tela de arame com abertura de 10 cm por 10 cm no entorno de cada arena (Figura 2-4 A). Uma das três arenas em cada ponto atuava como controle, diferindo das demais por ter sua abertura vedada com tecido voal, para não permitir a entrada dos insetos.

Os experimentos para captura dos escarabeíneos necrófagos (atraídos com carcaça) e avaliação da função de remoção foram conduzidos simultaneamente utilizando 50 g de carne suína em putrefação em cada uma das arenas, em experimentos de 48 h de duração em novembro e dezembro de 2013, sendo avaliados cada vez quatro pontos por área. Nos mesmos pontos, em janeiro de 2014, foi realizada a captura dos escarabeíneos coprófagos (atraídos com excremento) e a avaliação da função de remoção utilizando 50 g de excremento de cachorro doméstico por arena, o qual foi previamente corado com corante líquido, comestível e inodoro na cor azul (40 ml/kg) (Figura 2-4 B). Esta técnica foi empregada para facilitar a quantificação da remoção realizada pelas diferentes guildas funcionais (*dados não publicados* ver artigo 1). Em ambos os casos, as arenas iscadas ficaram expostas em campo por 48 horas, posteriormente os organismos retidos foram coletados, identificados e foi medido o peso médio e o tamanho médio dos organismos vivos, obtidos em três repetições por exemplar e em seguida eles foram encaminhados para a criação do Laboratório de Ecologia Terrestre Animal (LECOTA) da UFSC.

Para a obtenção dos dados de remoção tanto de carcaça quanto de excremento, o material foi separado e pesado em três categorias: 1) resto superficial, valor que foi subtraído do valor inicial fornecido (50 g por arena) para obter a quantidade de remoção total efetuada na arena; 2) alocado por telecoprídeo, que consistiu nas bolas confeccionadas com o recurso e enterradas ou retidas na margem da arena e; 3) alocado por paracoprídeo, que correspondeu ao material amórfico enterrado nas galerias subterrâneas. Apesar da presença de insetos da guilda dos endocoprídeos sua atuação na remoção não foi aferida, pois estes não alocam o recurso. Essas três categorias tiveram seus valores corrigidos quanto à dissecação das iscas através dos dados obtidos nas arenas controle que foram expostas simultaneamente em cada um dos pontos amostrais.

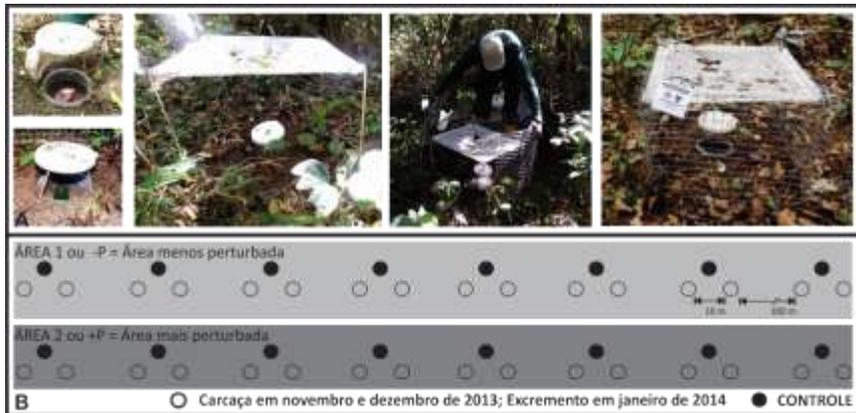


Figura 2 - 4. (A) Montagem das arenas utilizadas para coleta de escarabeíneos e avaliação da função de remoção de carcaça e excremento e arenas sendo protegidas da ação de vertebrados com tela de arame. (B) Desenho amostral para coleta de escarabeíneos e avaliação da função de remoção de carcaça em novembro e dezembro de 2013 e remoção de excremento em janeiro de 2014 em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Análise das comunidades de Scarabaeinae e avaliação da função de remoção de carcaça suína e excremento de cachorro doméstico

Em cada área, a unidade analisada foi o ponto amostral (n=8 por área), sendo assim os dados dos escarabeíneos e da remoção das duas arenas de cada ponto foram somados. As comunidades e a remoção foram comparadas entre as áreas, sendo as comunidades de insetos necrófagos (definida como comunidade atraída pela carcaça suína) e a de coprófagos (definida como comunidade atraída por excremento de cachorro doméstico) analisadas em separado, assim como a remoção de carcaça e de excremento. Para cada área foi descrita a riqueza de espécies e para verificar a suficiência amostral das coletas foi obtida a riqueza estimada através dos estimadores ACE e Chao 1, que levam em conta a abundância das espécies (Magurran 2004, Colwell et al. 2012).

A riqueza, a abundância e a biomassa em peso úmido dos escarabeíneos foram comparadas entre as áreas através do teste *t*. Posteriormente, para comparar estes mesmos atributos, isto é riqueza, abundância e biomassa, entre as guildas e entre as áreas, foi aplicada uma

ANOVA de dois fatores com teste *post hoc* par a par de Tukey (Crawley 2007), sendo a área e a guilda funcional os fatores. Os dados de abundância e biomassa dos coprófagos foram transformados com $\log x+1$ e os dos necrófagos mantidos sem transformação. Para comparar a estrutura das comunidades entre as áreas, a abundância e a biomassa das espécies foram transformadas por raiz quadrada e realizamos uma ANOSIM partindo de uma distância de Bray-Curtis (Clarke 1993, Warton et al. 2012).

A remoção efetuada por cada comunidade foi comparada entre as áreas através do teste *t*. Novamente, através de uma ANOVA de dois fatores com teste *post hoc* par a par de Tukey foi comparado o material alocado entre as guildas e entre as áreas (Crawley 2007). Para verificar qual atributo estrutural da comunidade é mais relevante na remoção utilizamos a riqueza, abundância e biomassa como variáveis preditoras e seus efeitos independentes sobre esta função foram obtidos através da partição hierárquica (Chevan e Sutherland 1991). O mesmo procedimento foi adotado para verificar como as guildas funcionais atuam nessa função, neste caso utilizamos a riqueza, abundância e biomassa dos paracoprídeos e dos telecoprídeos como variáveis preditoras e novamente seus efeitos independentes sobre esta função foram obtidos através da partição hierárquica. Em ambos os casos os modelos foram avaliados com base no R^2_{dev} e a significância do efeito de cada variável foi obtida através do teste de randomização em 999 iterações (Mac Nally 2000, 2002, Braga et al. 2013).

Todas as análises foram realizadas no programa R 3.0.1 (R Core Team, 2014) com os pacotes *vegan* (Oksanen et al. 2013) e *hier.part* (Walsh e Mac Nally 2013), sendo que, quando necessário, os resíduos das análises foram avaliados quanto à normalidade e homocedasticidade (Crawley 2007).

Resultados

Estrutura e atributos ecológicos da comunidade de escarabeíneos

Foram coletados 1.210 escarabeíneos de 11 espécies das quais cinco espécies apresentam comportamento paracoprídeo, cinco pertencem à guilda dos telecoprídeos e uma espécie é endocoprídea (Tabela 2-1). Apenas a área de menor grau de perturbação apresentou espécies exclusivas, sendo elas *Canthon luctuosus* (Harold, 1868), *Deltochilum morbillosum* Burmeister, 1848, *Deltochilum rubripenne* (Gory, 1831) e

Phanaeus splendidulus (Fabricius, 1781). A riqueza total de espécies observadas foi maior na área menos perturbada, tanto para aquelas atraídas por carcaça (Área -P: S = 8; N = 185; Área +P: S = 6; N = 200), quanto pelo excremento (Área -P: S = 8; N = 380; Área +P: S = 6; N = 445) (Tabela 2-2). Na comunidade de escarabeíneos necrófagos o número de espécies observadas, tanto na área menos perturbada quanto na área mais perturbada, foi de 100% dos valores estimados de riqueza de espécies segundo os estimadores ACE e Chao1. Na comunidade de escarabeíneos coprófagos a suficiência amostral foi de 100% na área menos perturbada e de 75% (ACE) e 86% (Chao1) na área mais perturbada. Assim, a área de menor grau de perturbação apresentou duas espécies de hábito necrófago e uma espécie de hábito coprófago a mais que a área de maior perturbação ambiental (Tabela 2-2).

A análise dos dados da comunidade de escarabeíneos necrófagos mostra que as espécies *Dichotomius sericeus* (Harold, 1867) (40%), *Deltochilum multicolor* Balthasar, 1939 (20%), *Deltochilum rubripenne* (Gory, 1831) (11%), *D. morbillosum* (10%) e *Coprophanæus saphirinus* (Sturm, 1826) (9%) foram as mais abundantes na área de menor perturbação ambiental (Figura 2-5 A). Na área mais perturbada apenas as espécies *D. sericeus* (61%) e *D. multicolor* (31%) foram dominantes em indivíduos e representaram 96,7% da biomassa total da comunidade nesta área (Figura 2-5 B). Assim, a estrutura das comunidades entre as áreas diferiu tanto quando foi levada em conta a abundância [ANOSIM, R = 0,310; p<0,05] quanto à biomassa de cada espécie da comunidade [ANOSIM, R=0,26; p<0,05].

Tabela 2 - 1. Espécies de escarabeíneos necrófagos e coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil no verão de 2013/2014: Área -P área de menor grau de perturbação ambiental; Área+P área de maior grau de perturbação ambiental. *Biomassa e comprimento individual médio (\pm desvio padrão).

Guilda funcional - Espécies	Biomassa (g)*	Tamanho (mm)*	Necrófagos			Coprófagos			Total
			Área -P	Área +P	Total	Área -P	Área +P	Total	
Paracoprídeos									
<i>Canthidium</i> aff. <i>trinodosum</i> (Boheman, 1858)	0.012 (\pm 0.004)	2.8 (\pm 0.7)	2	1	3	2	3	5	8
<i>Coprophanæus saphirinus</i> (Sturm, 1826)	0.856 (\pm 0.228)	17.6 (\pm 2.2)	17	5	22	2	0	2	24
<i>Dichotomius sericeus</i> (Harold, 1867)	0.341 (\pm 0.084)	12.4 (\pm 1.1)	72	123	195	205	259	464	659
<i>Phanaeus splendidulus</i> (Fabricius, 1781)	0.434 (\pm 0.088)	16.1 (\pm 0.5)	0	0	0	5	0	5	5
<i>Uroxys</i> sp.	0.006 (\pm 0.002)	2.0 (\pm 0.1)	0	1	1	9	62	71	72
Telecoprídeos									
<i>Canthon luctuosus</i> (Harold, 1868)	0.042 (\pm 0.007)	5.4 (\pm 0.4)	5	0	5	1	0	1	6
<i>Canthon rutilans cyanescens</i> (Harold, 1868)	0.137 (\pm 0.035)	9.0 (\pm 0.8)	13	8	21	152	114	266	287
<i>Deltochilum morbillosum</i> Burmeister, 1848	0.208 (\pm 0.034)	9.6 (\pm 0.7)	18	0	18	0	0	0	18
<i>Deltochilum multicolor</i> Balthasar, 1939	0.469 (\pm 0.067)	13.7 (\pm 1.1)	37	62	99	0	2	2	101
<i>Deltochilum rubripenne</i> (Gory, 1831)	0.296 (\pm 0.042)	11.9 (\pm 0.9)	21	0	21	0	0	0	21
Endocoprídeos									
<i>Eurysternus parallelus</i> Laporte, 1840	0.155 (\pm 0.198)	7.5 (\pm 6.6)	0	0	0	4	5	9	9
Abundância			185	200	385	380	445	825	1210
Riqueza			8	6	9	8	6	9	11

Tabela 2 - 2. Atributos ecológicos das comunidades de escarabeíneos necrófagos e coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica na Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Medidas Ecológicas de Comunidade	Necrófagos		Coprófagos	
	Área -P	Área +P	Área -P	Área +P
Riqueza	8	6	8	6
Abundância	185	200	380	445
Biomassa total	71.4	76.9	95.6	101.8
Estimadores de Riqueza				
ACE	8.0	6.0	8.0	8.2
Chao1	8.0	6.0	8.0	7.0

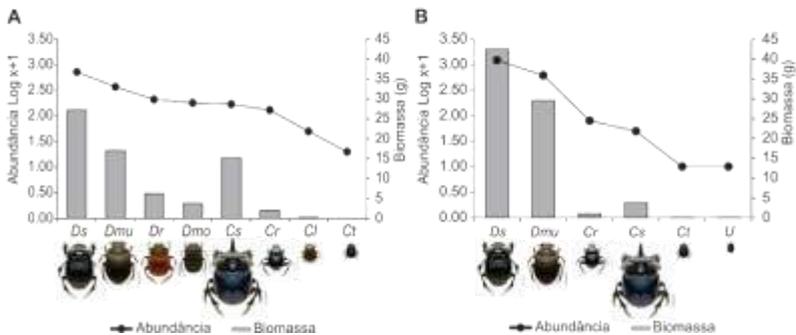


Figura 2 - 5. Diagrama de distribuição da abundância ($\log x+1$) e biomassa total (g) das espécies de escarabeíneos necrófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. A: área menos perturbada; B: área mais perturbada; Ct: *Canthidium* aff. *trinodosum*; Cl: *Canthon luctuosus*; Cr: *Canthon rutilans cyanescens*; Cs: *Coprophanaeus saphirinus*; Dmo: *Deltochilum morbillosum*; Dmu: *Deltochilum multicolor*; Dr: *Deltochilum rubripenne*; Ds: *Dichotomius sericeus*; e U: *Uroxys* sp..

A comunidade dos escarabeíneos necrófagos da área menos perturbada apresentou maior riqueza por ponto com média de 5,2 espécies e desvio padrão de 1,2 espécies em relação à área mais perturbada: média de 3,2 espécies ($s = 0,83$) [$t=3.62$; $p<0,01$] e esta diferença foi devido à contribuição dos telecoprídeos, que dentre as guildas funcionais, foi a que

apresentou em média mais espécies na área menos perturbada [$F=10,55$; $p<0,01$] (Figura 2-5 A). Quanto à abundância dos necrófagos, foram capturados em média 23,1 indivíduos ($s = 12,7$) na área menos perturbada, o que não diferiu da média de 25 indivíduos ($s = 9,8$) da área mais perturbada [$t=0,30$; $p=0,76$] e este padrão também foi observado para a abundância entre as guildas funcionais [$F=2,02$; $p=0,16$] (Figura 2-6 B). De maneira similar, a biomassa média destas comunidades foi de 8,9 g ($s = 4,7$) na área menos perturbada, o que não diferiu da média de 9,6 g ($s = 3,8$) da área mais perturbada [$t=0,30$; $p=0,77$], o que também foi observado entre as guildas funcionais [$F=0,03$; $p=0,86$] (Figura 2-6 C).

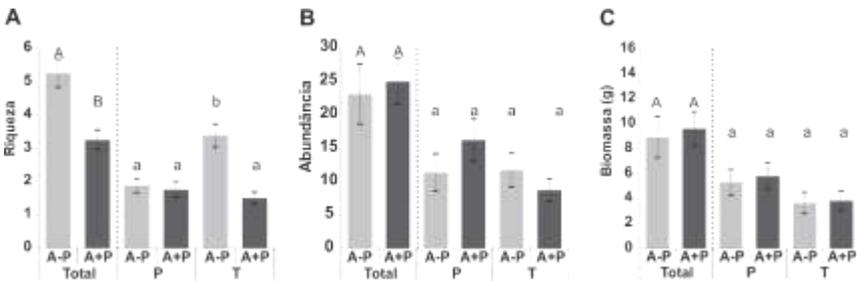


Figura 2 - 6. Riqueza, abundância e biomassa média por ponto amostral (\pm erro padrão) da comunidade de escarabeíneos necrófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada; P: guilda dos paracoprídeos; e T: guilda dos telecoprídeos.

A análise dos dados da comunidade de escarabeíneos coprófagos mostra que a dominância e a biomassa total foram às mesmas entre as áreas menos perturbada e mais perturbada. A espécie *D. sericeus* representou 54% dos indivíduos na área menos perturbada e 58% na área mais perturbada e *C. rutilans* com 40% e 25% dos indivíduos na área menos e na área mais perturbada, respectivamente (Figura 2-7A; Figura 2-7B). Assim, a estrutura das comunidades de escarabeíneos coprófagos entre as áreas foram similares em termos de abundância [ANOSIM, $R=0,01$; $p=0,36$] e de biomassa [ANOSIM, $R=0,03$; $p=0,33$].

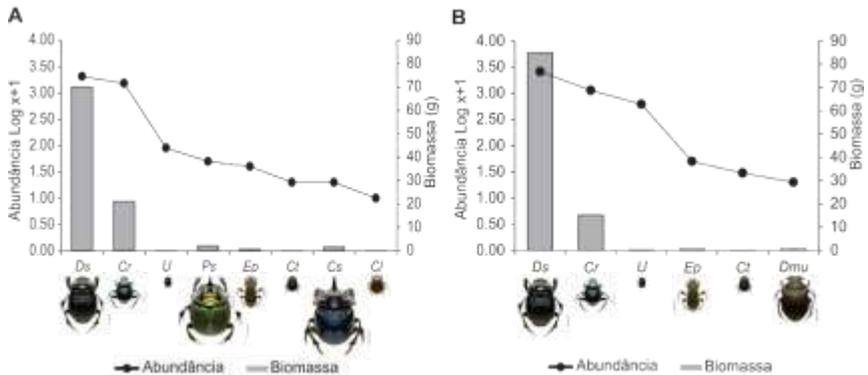


Figura 2 - 7. Diagrama de distribuição da abundância (log x+1) e biomassa (g) das espécies de escarabeíneos coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. A: área menos perturbada; B: área mais perturbada; Ct: *Canthidium* aff. *trinodosum*; Cl: *Canthon luctuosus*; Cr: *Canthon rutilans cyanescens*; Cs: *Coprophanaeus saphirinus*; Dmu: *Deltochilum multicolor*; Ds: *Dichotomius sericeus*; Ep: *Eurysternus parallelus*; Ps: *Phanaeus splendidulus*; e U:- *Uroxys* sp..

O experimento realizado atraindo os escarabeíneos coprófagos apresentou em média 3,8 espécies ($s = 1,6$) por ponto amostral na área menos perturbada e média de 3,2 espécies ($s = 0,8$) na área mais perturbada, não havendo diferença significativa entre elas [$t=0,44$; $p=0,66$] e, ao contrário do que ocorreu com os necrófagos, a riqueza média dos paracoprídeos, foi maior que as das demais guildas [$F=29,45$; $p<0,01$] (Figura 2-8 A). Este resultado também foi observado para a abundância e a biomassa dos indivíduos de ambas as comunidades, sendo que a média de 47,5 indivíduos ($s = 17,7$) capturados na área menos perturbada não é diferente da média de 55,6 indivíduos ($s = 10,3$) capturados na área mais perturbada [$t=1,01$; $p=0,33$] e também não diferiram a média de 12 g ($s = 4,4$) de biomassa na área menos perturbada e 12,7 g ($s = 4,1$) de biomassa na área mais perturbada [$t=0,22$; $p=0,82$]. Entretanto, os paracoprídeos coprófagos também apresentaram maior abundância média, com destaque para área mais perturbada [$F=74,76$; $p<0,05$] (Figura 2-8 B) e maior biomassa média, em ambas as áreas [$F=86,90$; $p<0,05$] (Figura 2-8 C).

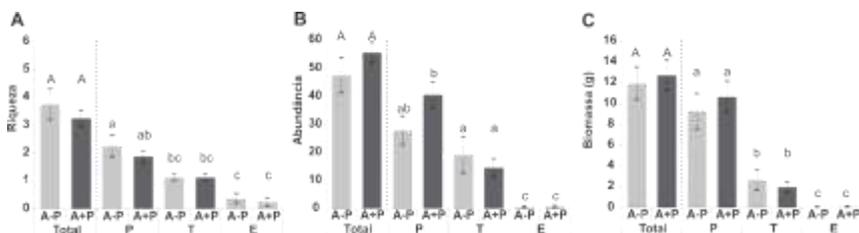


Figura 2 - 8. Riqueza, abundância e biomassa média por ponto amostral (\pm erro padrão) para comunidade de escarabeíneos coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada; P: guilda dos paracoprídeos; T: guilda dos telecoprídeos e; E: guilda dos endocoprídeos.

Remoção de carcaça e de excremento

Os escarabeíneos necrófagos na área menos perturbada removeram em média 75,1 g ($s = 24,6$) de carcaça por ponto, de um total de 100 g oferecido, sendo o dobro da remoção efetuada pela comunidade da área mais perturbada, com média de 39,6 g ($s = 24,0$) de remoção por ponto amostral [$t=2,92$; $p=0,01$]. Nestas comunidades apenas os paracoprídeos alocaram o material removido e a alocação média de 43,6 g ($s = 27,0$) de carcaça efetuada na área menos perturbada foi mais que o dobro da alocação efetuada na área mais perturbada, com média de 20,3 g ($s = 16,1$) por ponto, sendo esta diferença marginalmente significativa [$t=2,03$; $p=0,06$] (Figura 2-9). A diferença entre o total removido e o alocado pelos paracoprídeos pode ser atribuído à alimentação e a fragmentação do recurso que é efetuada pelos insetos de todas as guildas – diferença entre o total removido e a quantidade alocada pelas guildas funcionais, mas que não pode ser quantificada em função do tamanho das partículas.

A remoção efetuada pelos coprófagos foi similar em ambas às áreas, com média de 80,8 g ($s = 10,7$) de excremento removido por ponto na área menos perturbada e média de 81,5 g ($s = 13,4$) de excremento na área mais perturbada [$t=0,12$; $p=0,90$] de um total de 100 g oferecido (Figura 2-10). Os paracoprídeos alocaram, em média, 22,1 g ($s = 19,9$) na área menos perturbada e 26,1 g ($s = 20,9$) na área mais perturbada, enquanto que os telecoprídeos alocaram em média 13,0 g ($s = 6,2$) e 12,5 g ($s = 6,0$), respectivamente. Assim, não houve diferenças entre as áreas na

quantidade de recurso alocado [$F=0,11$; $p=0,74$], mas os paracoprídeos alocaram mais que o dobro do excremento removido em comparação aos telecoprídeos [$F=4,53$; $p=0,04$]. A interação entre os dois fatores, área e guilda funcional, não foi significativa [$F=0,17$; $p=0,67$]. Assim como no caso dos escarabeíneos necrófagos, na remoção de excremento houve fragmentação do recurso, além disso, os endocoprídeos estavam presentes, mas como não alocam material, sua contribuição esta somada na remoção total do recurso (Figura 2-10).

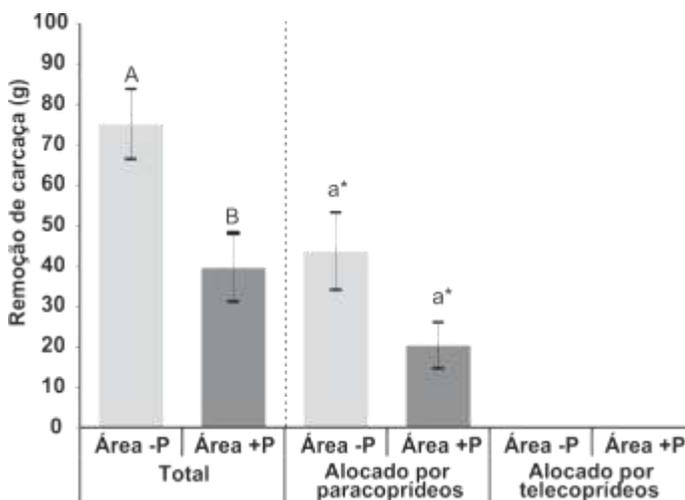


Figura 2 - 9. Remoção de carcaça por ponto amostral (média \pm erro padrão) realizada pelos escarabeíneos necrófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada. As letras indicam diferenças significativas, maiúsculas para avaliação da remoção e minúsculas para avaliação da alocação por guilda funcional.*Marginalmente significativo ($p=0,06$).

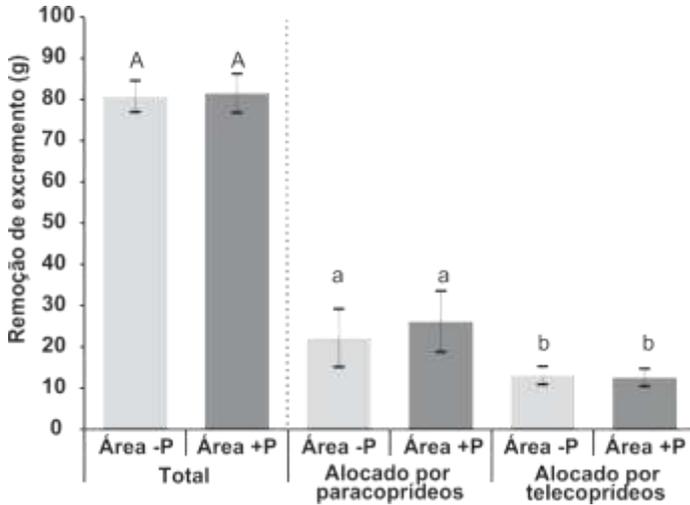


Figura 2 - 10. Remoção de excremento por ponto amostral (média ± erro padrão) realizada pelos escarabeíneos coprófagos em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada. As letras indicam diferenças significativas, maiúsculas para avaliação da remoção e minúsculas para avaliação da alocação por guilda funcional.

Quando analisada a função de remoção de carcaça efetuada pelas comunidades de escarabeíneos necrófagos, no modelo de partição hierárquica, somente uma pequena parte da variação dos dados de remoção foram representadas utilizando os atributos estruturais de comunidade [$R_{dev}^2=0,07$] bem como os de guildas funcionais [$R_{dev}^2=0,16$] e os efeitos destes atributos não foram significativos (Figura 2-11 A; Figura 2-11 B). De maneira similar, na análise da função de remoção de excremento efetuada pelas comunidades de escarabeíneos coprófagos, os atributos estruturais de comunidade não foram significativos na variação da remoção deste recurso [$R_{dev}^2=0,35$] (Figura 2-11 C), no entanto, a abundância (34,2%) e a biomassa (29,2%) dos telecoprídeos foram os atributos das guildas funcionais de maiores efeitos independentes sobre a remoção de excremento e as contribuições destas variáveis foram positivas e significativas para esta função [$R_{dev}^2=0,72$; $p<0,05$] (Figura 2-11 D).

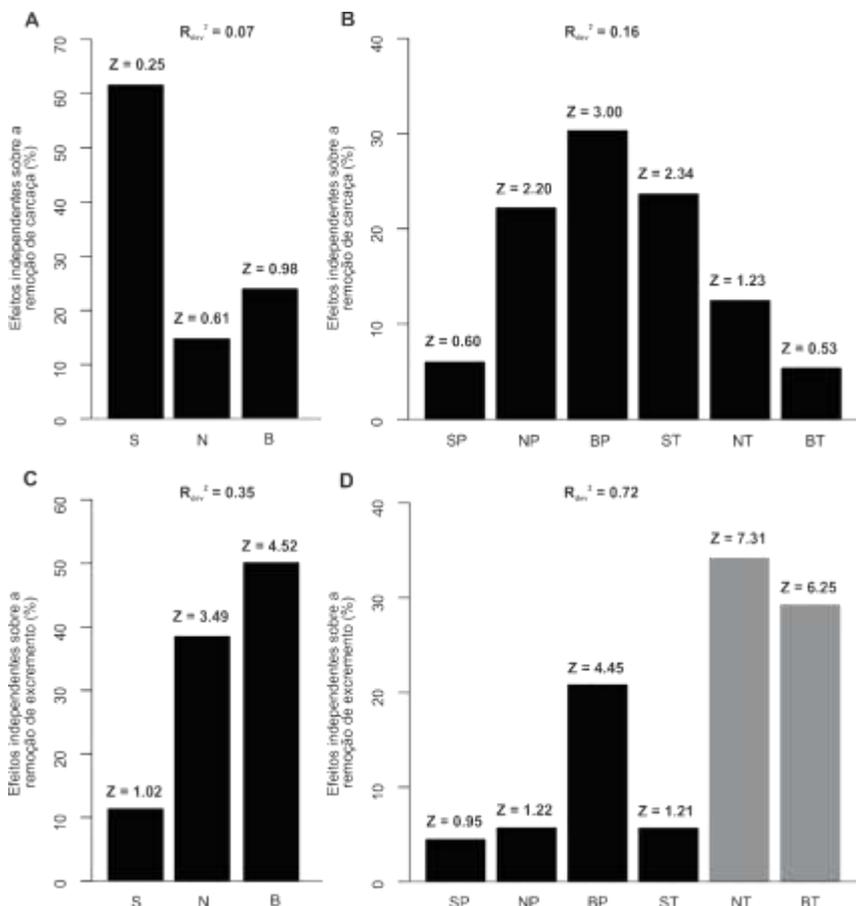


Figura 2 - 11. Análise de particionamento hierárquico da variação da remoção com: (A) distribuição da porcentagem dos efeitos independentes dos atributos estruturais de comunidade e (B) de guildas funcionais dos escarabeíneos necrófagos; (C e D) dos escarabeíneos coprófagos. Barras em cinza representam efeito significativo do atributo estrutural ($p < 0,05$); R_{dev}^2 é o total da variação dos dados explicado pelo modelo; S: riqueza; N: abundância; B: biomassa; SP: riqueza de paracoprídeos; NP: abundância de paracoprídeos; BP: biomassa de paracoprídeos; ST: riqueza de telecoprídeos; NT: abundância de telecoprídeos; e BT biomassa de telecoprídeos.

Discussão

O estudo da remoção é uma base para a compreensão dos aspectos da decomposição e do ciclo dos nutrientes. Elucidar quais características ecológicas das comunidades e das guildas funcionais dos escarabeíneos são importantes na execução das funções ecológicas desempenhada por este grupo pode auxiliar em estratégias de conservação. Este tipo de informação indica a capacidade de elementos chaves, como os escarabeíneos, na manutenção dos serviços ecossistêmicos. Nossos resultados demonstram a elevada capacidade funcional dos escarabeíneos, principalmente os coprófagos na função de regulação ou suporte dentro dos serviços ecossistêmicos, pois em 48 horas, independente da qualidade ambiental da área, estes insetos removeram quase todo o recurso oferecido (80%). A remoção de carcaça foi influenciada por diferenças sutis na qualidade ambiental das áreas, mas, no ambiente menos perturbado os escarabeíneos necrófagos apresentam o mesmo desempenho que os coprófagos (75% do recurso fornecido em 48 horas). Estes dados são especialmente importantes em ambientes de Mata Atlântica, pois ao removerem e alocarem a carcaça e o excremento no solo os escarabeíneos contribuem significativamente com a transferência de nutrientes para o solo, principalmente devido à fragmentação deste recurso, além de melhorar a qualidade nutricional das plantas (Galbiati et al. 1995, Hanafy 2012), efetuar o controle biológico e a aeração dos solos (Braga et al. 2012, 2013) e a dispersão secundária de sementes que pode contribuir com o sucesso reprodutivo das mudas (Vulinec 2002, Andresen 2003, Nichols et al. 2008) e consequentemente, com a regeneração dos ambientes.

Nosso estudo demonstra que as alterações na qualidade do ambiente têm implicações diferenciadas sobre as comunidades em função do recurso que elas utilizam. Neste sentido, a função de remoção de carcaça é mais comprometida por essas alterações ambientais que geraram a perda de espécies e mudanças na estrutura da comunidade de escarabeíneos necrófagos. A área mais perturbada, além de menos espécies, apresentou um padrão de dominância mais acentuado, o que também refletiu em menor remoção de carcaça (39,6%) em relação à área menos perturbada (75,1%). De acordo com a teoria da redundância, a perda de algumas espécies não comprometeria o funcionamento dos ecossistemas devido à existência de mais de uma espécie desempenhando o mesmo papel ecológico (Walker 1992, Lawton e Brown 1993). Nos estudos de remoção de excremento e de carcaça realizados por Amézquita e Favila (2010, 2011) foi possível

observar que a perda de algumas espécies foi compensada em abundância e biomassa por outras espécies. Assim, devido à redundância funcional, mesmo havendo menor riqueza, as taxas de remoção de excremento foram similares entre as áreas investigadas, uma vez que não houve diferenças na abundância ou biomassa total dos escarabeíneos. Outros estudos também sugerem que este mecanismo de compensação em abundância e biomassa frente à perda de algumas espécies pode ser capaz de manter a decomposição e assim não alterar o funcionamento dos ecossistemas (Rosenlew e Roslin 2008). No entanto, nossos resultados apontam que esta compensação, em abundância e biomassa, não é eficaz em áreas degradadas de Mata Atlântica e a perda de algumas espécies telecoprídeas com hábito necrófago alterou a estrutura da comunidade e comprometeu significativamente a remoção de carcaça na área mais perturbada.

As comunidades de escarabeíneos coprófagos e o desempenho das funções de remoção e alocação de excremento foram similares entre as áreas investigadas, pois mesmo que tenha sido registrada uma menor riqueza de paracoprídeos na área mais perturbada, tanto a abundância quanto a biomassa total das comunidades foram similares. Esta dinâmica sugere que, quando a ausência das espécies não resulta em diferenças estruturais entre as comunidades, a atuação do mecanismo de compensação torna-se relevante (Amézquita e Favila 2010, 2011). Estas diferenças na remoção de recursos alimentares entre necrófagos e coprófagos sugerem que as comunidades respondem de maneira distinta às alterações ambientais e que não são os mesmos fatores que exercem pressões sobre elas (Amézquita e Favila 2011, Dangles et al. 2012). A maior sensibilidade dos escarabeíneos necrófagos, reportada também em outros estudos de remoção (Klein 1989, Horgan 2008, Dangles et al. 2012), pode estar relacionada à efemeridade e imprevisibilidade na disponibilização deste tipo de recurso em relação ao excremento, uma vez que o padrão de defecação dos vertebrados pode ser mais previsível no espaço e no tempo (Amézquita e Favila 2011). Por outro lado, os escarabeíneos coprófagos mostram respostas mais acentuadas para a função de remoção de excremento nos extremos de gradientes de alteração ou qualidade ambiental (Klein 1989, Andresen 2003, Anduaga 2004, Amézquita e Favila 2010, Braga et al. 2013).

Ao decompor a comunidade e analisar os atributos ecológicos das guildas funcionais em nossos modelos de partição hierárquica somente foi possível obter uma boa representatividade da variação na remoção de excremento (72%) e a abundância e biomassa dos telecoprídeos foram as

variáveis significativas nessa função. Os telecoprídeos, principalmente os diurnos, como *Canthon rutilans cyanescens* (Harold 1868), espécie dominante dentro da comunidade de escarabeíneos coprófagos contemplada neste estudo, pertence ao grupo funcional menos eficiente na remoção (Slade et al. 2007). No entanto, a capacidade máxima desta função é observada quando vários grupos funcionais atuam juntos (Slade et al. 2007, Dangles et al. 2012). Além disso, quando a biomassa total de pequenos besouros é similar a de besouros maiores é possível observar a mesma capacidade de remoção e quando estes besouros pequenos são abundantes a capacidade desta função pode ser elevada (Dangles et al. 2012) justificando a importância da abundância e biomassa desta guilda funcional no modelo de partição hierárquica. Isso também sugere que outras características das espécies, além do tamanho corporal ou guilda funcional, podem influenciar positivamente na sua capacidade de remoção (Nervo et al. 2014).

Quanto aos insetos paracoprídeos, estes foram os que mais alocaram o recurso em ambas as áreas, sendo que os escarabeíneos com este comportamento são comumente reportados como mais eficientes nesta função (Andresen 2003, Anduaga 2004, Slade et al. 2007, Amézquita e Favila 2010, 2011, Dangles et al. 2012, Braga et al. 2013, Nervo et al. 2014). Ainda que apenas os atributos ecológicos dos telecoprídeos tenham sido apontados como relevantes na remoção, cabe ressaltar que os paracoprídeos são os mais eficientes na aeração dos solos e dispersão secundária de sementes (Vulinec 2002, Andresen 2003, Braga et al. 2012), funções que são associadas à remoção mas que não são executadas de maneira similar quando as relações de equivalência em biomassa e abundância são observadas (Vulinec 2002, Slade et al. 2007, Braga et al. 2013). Por tanto, a complementariedade entre as guildas funcionais e as espécies é necessária para a manutenção de todas as funções ecológicas vinculadas aos escarabeíneos.

As espécies de escarabeíneos apresentam períodos de atividades diferenciados (Hernández 2002) e quando o recurso é colocado durante o dia como em nosso estudo, as espécies diurnas podem ser beneficiadas (Amézquita e Favila 2011). No entanto, os telecoprídeos coprófagos que foram representados basicamente pela espécie dominante *C. rutilans*, considerado diurno, alocaram menos excrementos que os paracoprídeos, representados pela espécie dominante *Dichotomius sericeus* (Harold 1867) que é considerada noturna. A menor quantidade de excremento alocada pelos telecoprídeos pode ter ocorrido em função de três fatores não excludentes: por estarem em menor biomassa total, uma vez que os locais

em que sua biomassa foi alta houve elevada remoção; por serem mais lentos que os paracoprídeos no uso do recurso (Andresen 2003, Anduaga 2004); por empregarem mais tempo em possíveis combates e outras interações durante o comportamento de alocação de recurso (Favila 1988, Chamorro-Florescano e Favila 2008, Chamorro-Florescano et al. 2011). Ainda que tenham alocado menos excremento e não alocado a carcaça, os telecoprídeos auxiliam na remoção ao se alimentarem e fragmentarem estes recursos, esta fragmentação que consiste na parte do recurso que é imediatamente disponível em partículas menores no solo, efetuada por todas as guildas, pode ser observada na diferença entre o total removido pela comunidade e o material alocado.

A preferência alimentar das espécies mostrou que *Deltochilum morbillosum* Burmeister, 1848 e *Deltochilum rubripenne* (Gory 1831) ocorreram estritamente em carcaça, ao passo que *Phanaeus splendidulus* (Fabricius 1781) e *Eurysternus parallelus* Laporte, 1840 ocorreram estritamente em excremento, sendo assim, estas espécies podem ser consideradas especialistas conforme reportado em outros estudos realizados na Mata Atlântica (Korasaki et al. 2012, Silva e Di Mare 2012, Silva et al. 2012, Campos e Hernández 2013). Além disso, com exceção de *E. parallelus*, estas espécies especialistas e *Canthon luctuosus* (Harold 1868), considerada generalista (Silva et al. 2012), foram capturadas apenas na área menos perturbada e de melhor qualidade ambiental.

A conclusão do trabalho mostra concordância parcial com nossas predições, uma vez que somente os necrófagos são sensíveis a diferenças sutis na qualidade do hábitat, apresentando perda de diversidade que compromete a remoção de carcaça. Além disso, podemos concluir que, dentro dos coprófagos, a abundância e a biomassa dos telecoprídeos são os atributos mais importantes na função de remoção, embora em ambos os casos – remoção de carcaça e de excremento – os paracoprídeos tenham alocado mais material no interior do solo.

Agradecimentos

Agradecemos as contribuições do Dr. Mario E. Favila, Dr. Pedro G. da Silva, Msc. Renata C. Campos e Msc. Juliano A. Bogoni para o desenvolvimento do trabalho e ao Dr. Rodrigo F. Braga pelas sugestões ao manuscrito. Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico,

CNPq, pelo financiamento do projeto “*Dinâmica populacional e ecologia comportamental de besouros decompositores da subfamília Scarabaeinae: importância no funcionamento do ecossistema em fragmentos de Mata Atlântica*” (Processo 479203/2010-5) e pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa ao segundo autor no projeto “*Comportamento de besouros Scarabaeinae e sua função no ciclo de decomposição de matéria orgânica*” (Processo 303800/2010-0), a Fundação municipal do meio ambiente de Florianópolis, FLORAM e a equipe de funcionários do Parque Municipal da Lagoa do Peri.

Referências bibliográficas

- Amézquita, S., and M. E. Favila. 2010.** Removal rates of native and exotic dung by dung beetles (Scarabaeidae: Scarabaeinae) in a fragmented tropical rain forest. *Environ. Entomol.* 39:328–36. doi: 10.1603/EN09182.
- Amézquita, S., and M. E. Favila. 2011.** Carrion removal rates and diel activity of necrophagous beetles. *Environ. Entomol.* 40(2): 239-246. doi: 10.1603/EN10203.
- Andresen, E. 2001.** Effects of dung presence, dung amount and secondary dispersal by dung beetles on the fate of *Micropholis guyanensis* (Sapotaceae) seeds in Central Amazonia. *J. Trop. Ecol.* 17: 61–78.
- Andresen, E. 2003.** Effect of forest fragmentation on dung beetle communities and functional consequences for plant regeneration. *Ecography* 26: 87-97.
- Anduaga, S. 2004.** Impact of the activity of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) inhabiting pasture land in Durango, Mexico. *Environ. Entomol.* 33: 1307-1312.
- Anduaga, S., and C. Huerta. 2007.** Importance of dung incorporation activity by three species of coprophagous beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) macrofauna in pastureland on “La Michila” Biosphere Reserve in Durango, Mexico. *Environ. Entomol.* 36(3): 555-559.
- Barlow, J., J. Louzada, L. Parry, M. I. M. Hernández, J. Hawes, C. A. Peres, F. Z. Vaz-de-Mello, and T. A. Gardner. 2010.** Improving the design and management of forest strips in human-dominated tropical landscapes: a field test on Amazonian dung beetles. *J. Appl. Ecol.* 47: 779-788

- Bogoni, J. A., and M. I. M. Hernández. 2014.** Attractiveness of native mammal's feces of different trophic guilds to dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). *J. Insect Sci.* 14 (299). doi: 10.1093/jisesa/ieu161.
- Braga, R. F., V. Korasak, E. Andresen and J. Louzada. 2013.** Dung beetle community and functions along a habitat-disturbance gradient in the Amazon: a rapid assessment of ecological functions associated to biodiversity. *PLoS One* 8: e57786. doi: 10.1371/journal.pone.0057786.
- Braga, R. F., V. Korasaki, L. D. Audino and J. Louzada. 2012.** Are dung beetles driving dung-fly abundance in traditional agricultural areas in the Amazon? *Ecosystems* 15: 1173-1181. doi: 10.1007/s10021-012-9576-5.
- Campos, R. C., and M. I. M. Hernández. 2013.** Dung beetle assemblages (Coleoptera, Scarabaeinae) in Atlantic forest fragments in southern Brazil. *Rev. Bras. Entomol.* 57(1): 47-54.
- Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G. M. Mace, D. Tilman, D. A. Wardle, A. P. Kinzig, G. C. Daily, M. Loreau, J. B. Grace, A. Larigauderie, D. S. Srivastava, and S. Naeem. 2012.** Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59–67.
- Cardoso, F. S., G. Pereira, A. I. Agudo-Padrón, C. Nascimento and A. Abdalla. 2008.** Análise do uso e ocupação da terra na bacia da Lagoa do Peri, Florianópolis (SC). *Caminhos da Geografia - revista on line*: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>.
- Chamorro-Florescano, I. A. and M. E. Favila. 2008.** Male reproductive status affects contest outcome during nidification in *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte (Coleoptera: Scarabaeidae). *Behaviour* 145: 1811-1821.
- Chamorro-Florescano, I. A., M. E. Favila, and R. Macías-Ordóñez. 2011.** Resource ownership, body size and reproductive status affect the outcome of food ball contests in a roller beetle. *Evol. Ecol.* 25: 277-289.
- Cherem, J., P. C. Simões-Lopes, S. Althoff and M. E. Graipel. 2004.** Lista dos mamíferos do estado de Santa Catarina , sul do Brasil. *Mastozool Neotrop* 11: 151-184.
- Chevan, A., and M. Sutherland. 1991.** Hierarchical partitioning. *Am. Stat.* 45: 90-96.

- Chin, K., and B. D. Gill. 1996.** Dinosaurs, dung beetles, and conifers: participants in a Cretaceous food web. *Palaios* 11: 280-285.
- Clarke, K. R. 1993.** Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.* 18: 117-143.
- Colwell, R. K., A. Chao, N. J. Gotelli, A. Y. Lin, C. X. Mao, R. L. Chazdon, R. L., and J. T. Longino. 2012.** Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *J. Plant Ecol.* 5(1): 3-21.
- Crawley, M. J. 2007.** *The R book.* John Wiley & Sons Ltd., London, UK.
- Culot, L., E. Bovy, F. Z. Vaz-de-Mello, R. Guevara, and, M. Galetti. 2013.** Selective defaunation affects dung beetle communities in continuous Atlantic rainforest. *Biol. Conserv.* 163: 79-89.
- Daily, G. C. 1997.** *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems.* Island Press, Washington, USA.
- Dangles, O., C. Carpio, and G. Woodward. 2012.** Size-dependent species removal impairs ecosystem functioning in a large-scale tropical field experiment. *Ecology* 93(12): 2615-2625.
- De Groot, R. S., M. A. Wilson, and R. M. J. Boumans. 2002.** A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41: 393-408.
- Dotta G. and L. M. Verdade. 2011.** Medium to large-sized mammals in agricultural landscapes of south-eastern Brazil. *Mammalia* 75: 345-352. doi: 10.1515/MAMM.2011.049.
- Favila, M. E. 1988.** Comportamiento durante el período de maduración gonádica en um escarabajo rodador (Coleoptera: Scarabaeidae, Scarabaeinae). *Fol. Entomol. Mex.* 76: 55-64.
- Filgueiras, B. K. C., C. N. Liberal, C. D. M. Aguiar, M. I. M. Hernández, and L. Iannuzzi. 2009.** Attractivity of omnivore, carnivore and herbivore mammalian dung to Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) in a tropical Atlantic rainforest remnant. *Ver. Bras. Entomol.* 53: 422-427.
- Galbati, C., C. Bensi, C. H. C. Conceição, J. L. Florcovski, and M. H. Calafiori. 1995.** Estudo comparativo entre besouros do esterco, *Dichotomius anaglypticus* (Mann., 1929) e *Onthophagus gazela* (F.), sobre as pastagens, em condições brasileiras. *Ecosystema*, 20(3): 109-118.
- Gardner T. A., J. Barlow, I. S. Araujo, T. C. Ávila-Pires, A. B. Bonaldo, J. E. Costa, M. C. Esposito, L. V. Ferreira, J. Hawes, M. I. M. Hernández, M. S. Hoogmoed, R. N. Leite, N. F. Lo-Man-Hung, J.**

- R. Malcolm, M. B. Martins, L. A. M. Mestre, R. Miranda-Santos, W. L. Overall, L. Parry, S. L. Peters, M. A. Ribeiro-Junior, M. N. F. Silva, C. S. Motta, and C. A. Peres. 2008a** The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. *Ecol. Lett.* 11: 139-150.
- Gardner, T., M.I.M. Hernández, J. Barlow, and C. A. Peres. 2008b.** Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests in neotropical dung beetles. *J. Appl. Ecol.* 45: 883-893.
- Gollan, J. R., L. L. Bruynb, N. Reidb, and L. Wilkiea. 2013.** Monitoring the ecosystem service provided by dung beetles offers benefits over commonly used biodiversity metrics and a traditional trapping method. *J. Nat. Conserv.* 21: 183-188.
- Halfpiter, G., and E. G. Matthews. 1966.** The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). *Fol. Entomol. Mex.* 12(14): 1-312.
- Halfpiter, G., and W. D. Edmonds. 1982.** The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): an ecologic and evolutive approach. *Man and Biosphere Program Unesco, Mexico City, MEX.*
- Hanafy, H. E. M. 2012.** Effect of dung beetles, *Scarabaeus sacer* (Scarabaeidae: Scarabaeinae) on certain biochemical contents of leaves and fruits of tomato and squash plants. *J. of Appl. Sci. Res.* 8(10): 4927-4936.
- Hanski, I., and Y. Cambefort. 1991.** *Dung beetle ecology.* Princeton University Press, Princeton, USA.
- Hernández, M. I. M. 2002.** The night and day of dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) in the Serra do Japi, Brazil: elytra colour related to daily activity. *Rev. Bras. Entomol.* 46 (4): 597-600.
- Horgan, F. G. 2001.** Burial of bovine dung by coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from horse and cow grazing sites in El Salvador. *Eur. J. Soil Biol.* 37:103-111.
- Horgan, F. G. 2005.** Aggregated distribution of resources creates competition refuges for rainforest dung beetles. *Ecography* 28: 603-618.
- Horgan, F. G. 2008.** Dung beetle assemblages in forests and pastures of El Salvador: a functional comparison. *Biodivers. Conserv.* 17: 2961-2978.
- Klein, B. C. 1989.** Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. *Ecology* 70: 1715-1725.

- Korasaki, V., J. Lopez, G. G. Brown, and J. Louzada. 2012.** Using dung beetles to evaluate the effects of urbanization on Atlantic Forest biodiversity. *Insect Sc.* 00: 1-14.
- Kudavidanage, E. P., L. Qie, and J. S. H. Lee. 2012.** Linking biodiversity and ecosystem functioning of dung beetles in south and southeast asian tropical rainforests. *Raff. Bull. Zool.* 25: 141-154.
- Lawton, J. H., and V. K. Brown. 1993.** Redundancy in ecosystems, pp.255–270. *In* E. D. Schulze and A. H. Mooney (eds.), *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Verlag, New York, USA.
- Mac Nally, R. 2000.** Regression and model-building in conservation biology, biogeography and ecology: the distinction between—and reconciliation of—‘predictive’ and ‘explanatory’ models. *Biodivers. Conser.* 9: 655-671.
- Mac Nally, R. 2002.** Multiple regression and inference in ecology and conservation biology: further comments on identifying important predictor variables. *Biodivers. Conserv.* 11: 1397-1401.
- Magurran, A. E. 2004.** *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005.** *Ecosystems and human well-being*. Island Press, Washington, USA.
- Myers, N. 1996.** Environmental service of biodiversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 93(7): 2764-2769.
- Naeem S., J. E. Duffy, and E. Zavaleta. 2012.** The Functions of biological diversity in an age of extinction. *Science* 336: 1401-1406.
- Nervo, B., C. Tocco, E. Caprio, C. Palestini, and A. Rolando. 2014.** The effects of body mass on dung removal efficiency in dung beetles. *PLoS One* 9: e107699. doi:10.1371/journal.pone.0107699.
- Nichols, E. 2013.** Fear begets function in the ‘brown’ world of detrital food webs. *J Anim Ecol* 82(4): 717-720.
- Nichols, E., S. Spector, J. Louzada, S. Amézquita, and M. E. Favila. 2008.** Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.* 141: 1461-1474. doi: 10.1016/j.biocon.2008.04.011.
- Nichols, E., T. A. Gardner, and C. A. Peres. 2009.** Co-declining mammals and dung beetles: an impending ecological cascade. *Oikos* 118: 481-487.
- Nichols, E., T. Larsen, S. Spector, A. Davis, F. Escobar, M. Favila, K. Vulinec, and the Scarabnet Research Network. 2007.** *Global dung*

beetle response to tropical forest modification and fragmentation: a quantitative literature review and meta-analysis. *Biol. Conserv.* 137: 1-19.

- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens, and H. Wagner. 2013.** *vegan: Community Ecology Package.* R package version 2.0-10. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Puker, A., C. M. A. Correa, V. Korasaki, K. R. Ferreira and N. G. Oliveira. 2013.** Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) attracted to dung of the largest herbivorous rodent on Earth: a comparison with human feces. *Environ. Entomol.* 42: 1218-1225.
- R Core Team. 2014.** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AUT. URL <http://www.R-project.org/>.
- Rosenlew, H., and T. Roslin. 2008.** Habitat fragmentation and the functional efficiency of temperate dung beetles. *Oikos* 117: 1659-1666.
- Santos, G. F., J. T. N. Silva, M. Mendonça, and R. W. Veado. 1989.** Análise ambiental da Lagoa do Peri. *Geosul* 8: 101-123.
- ScarabNet. 2013.** Global Taxon Database. URL: <http://www.scarabnet.org/ScarabNet/Home/Home.html>.
- Scholtz, C. H., A.L.V. Davis, and U. Kryger. 2009.** Evolutionary biology and conservation of dung beetles. Pensoft Publishers, Sofia, BGR.
- Silva, P.G., and R. A. Di Mare. 2012.** Escarabeíneos copro-necrófagos (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae) de fragmentos de Mata Atlântica em Silveira Martins, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 102(2): 197-205.
- Silva, P.G., F. Z. Vaz-de-Melo, and R. A. Di Mare. 2012.** Attractiveness of different bait to the Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) in forest fragments in extreme southern Brazil. *Zool. Stud.* 51(4): 429-441.
- Slade E. M., D. J. Mann, J. F. Villanueva, and O. T. Lewis. 2007.** Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. *J. Anim. Ecol.* 76: 1094-104.
- Spector, S. 2006.** Scarabaeine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. *Coleop. Bull.* 5: 71-83.

- Vulinec, K. 2002.** Dung beetle communities and seed dispersal in primary forest and disturbed land in Amazonia. *Biotropica* 34: 297-309.
- Walker, B. H. 1992.** Biodiversity and ecological redundancy. *Conserv. Biol.* 6: 18-23.
- Walsh, C., and R. Mac Nally. 2013.** hier.part: Hierarchical Partitioning. R package version 1.0-4. <http://CRAN.R-project.org/package=hier.part>.
- Wardle, D. A. and R. D. Bardgett. 2004.** Human-induced changes in large herbivorous mammal density: the consequences for decomposers subsystem. *Front Ecol Environ* 2(3): 145-153.
- Warton, D. I., T. W. Wright, and Y. Wang. 2012.** Distance-based multivariate analyses confound location and dispersion effects. *Methods Ecol. Evol.* 3: 89-101.
- Whipple, S. D., and W. W. Hoback. 2012.** A comparison of dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) attraction to native and exotic mammal dung. *Environ. Entomol.* 41: 238-244.

Capítulo 3: artigo a ser submetido para revista *Animal Behaviour*

Descrição quantitativa das funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar dos besouros escarabeíneos *Canthon rutilans cyanescens* (Harold 1868), *Deltochilum multicolor* Balthasar 1939, *Dichotomius sericeus* (Harold 1867) e *Phanaeus splendidulus* (Fabricius 1781)

MOACYR BATILANI-FILHO¹ and MALVA I. M. HERNÁNDEZ
Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SC, Brasil

Resumo:

Os escarabeíneos desempenham diversas funções ecológicas ao se alimentarem de excrementos e carcaças, comportamento com implicações positivas na decomposição, no ciclo de nutrientes e na dispersão secundária de sementes. Em um remanescente de Mata Atlântica no sul do Brasil, de março a maio de 2014, avaliamos a capacidade funcional de remoção e alocação de excremento e da dispersão secundária de sementes efetuada por *Canthon rutilans cyanescens* e *Deltochilum multicolor* (telecoprídeos) e por *Dichotomius sericeus* e *Phanaeus splendidulus* (paracoprídeos). Dois tratamentos foram conduzidos, um para avaliar o efeito do período de exposição ao recurso sobre a capacidade funcional das quatro espécies e outro para avaliar o efeito da densidade de indivíduos de *C. rutilans* e *D. sericeus* sobre o desempenho de suas funções ecológicas. Para tanto, um total de 224 indivíduos coletados no mesmo local, foram distribuídos em casais ou três casais, em 64 arenas de avaliação, nas quais foram oferecidos 30 g de excremento de cachorro, dividido em três porções iguais: uma contendo 60 sementes artificiais pequenas (2 mm de diâmetro), uma contendo 10 sementes artificiais grandes (5 mm) e uma sem sementes. As arenas foram cobertas com tecido e ficaram expostas em campo por dois, sete e 21 dias com quatro réplicas cada, conforme o tratamento. Os paracoprídeos foram mais eficientes que os telecoprídeos em todas as funções ecológicas, embora ao avaliar a capacidade de remoção em função da biomassa padronizada em 1 g, *C. rutilans* e *D. sericeus* foram as espécies mais eficientes na remoção. O tempo e a densidade aumentaram a remoção e o número de bolas de alimentação feitas por *C. rutilans*. Para *D.*

sericeus esses fatores aumentaram a remoção e a alocação, enquanto que a dispersão e a profundidade de enterrio das sementes grandes aumentaram com o tempo e a profundidade das sementes pequenas e o número de túneis aumentaram com a densidade. Para *P. splendidulus* o tempo aumentou a remoção e a profundidade das sementes pequenas sendo que *D. multicolor* não teve nenhuma função influenciada por estes fatores. O tempo de exposição ao recurso tem implicações positivas nas funções ecológicas, pois permite que avaliações comparativas sejam realizadas após a execução de comportamentos complexos envolvidos na alimentação de algumas espécies de escarabeíneos. Por outro lado, a densidade proporciona maior biomassa total, que é um atributo importante na execução das funções ecológicas. Assim, quantificar o desempenho dessas espécies e demonstrar como esses fatores influenciam suas capacidades, além de evidenciar a importância ecossistêmica desses organismos, fornece ferramentas que podem subsidiar estratégias de conservação com enfoque funcional.

Palavras-chaves: decomposição, dispersão de sementes, remoção de fezes Scarabaeinae.

Introdução

Os besouros da subfamília Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) são detritívoros e contribuem na decomposição da matéria orgânica e aumentam a ciclagem de nutrientes ao utilizar como recursos alimentares principalmente excrementos, carcaças e frutos em decomposição (Halfpter e Matthews 1966). De acordo com o comportamento utilizado ao fazer uso do recurso, estes insetos podem ser classificados em três guildas funcionais: os paracoprídeos (ou tuneleiros) são os que enterram o recurso em túneis ou galerias imediatamente abaixo da fonte; os telecoprídeos (ou rodadores) formam bolas de alimentação ou de nidificação com o recurso, as quais podem ser enterradas a certa distância da fonte; e os endocoprídeos (ou residentes), que não alocam o recurso, utilizando-o para alimentação ou nidificação diretamente na fonte (Halfpter e Edmonds 1982). O comportamento alimentar dos escarabeíneos desencadeia uma série de outras funções ecológicas, como a dispersão secundária das sementes que estão inseridas no excremento, a aeração e revolvimento dos solos e o controle biológico de moscas e de outros parasitas (Nichols et al. 2008). Assim, os escarabeíneos melhoram as concentrações de nutrientes nos solos e nas plantas (Galbiatii et al. 1995,

Hanafy 2012) e ainda podem aumentar o sucesso de estabelecimento de mudas ao evitar a predação das sementes (Vulíneck 2002, Andresen 2003).

Uma das funções ecológicas desempenhada pelos escarabeíneos que tem sido mais investigada é remoção de excremento efetuada pelas comunidades com besouros de hábito coprófago (e.g. Klein 1989, Horgan 2001, 2005, 2008, Andresen 2003, Anduaga 2004, Amézquita e Favila 2010, Kudavidanage et al. 2012, Braga et al. 2013, Gollan et al. 2013) e, com menos intensidade, a remoção de carcaça efetuada pela comunidade de escarabeíneos necrófagos (e.g. Klein 1989, Horgan 2008, Amézquita e Favila 2011). Outra abordagem tem sido a quantificação da remoção e a execução das demais funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar destes besouros, classificando as espécies em grupos funcionais (Slade et al. 2007, Dangles et al. 2012). Com base nessas abordagens, em geral, as espécies paracoprídeas, noturnas e de tamanho corporal grande são as que apresentam maior capacidade funcional.

A biomassa corporal é considerada uma característica importante que influencia o funcionamento dos ecossistemas no nível trófico dos detritívoros (Wardle e Bardgett 2004, Nichols 2013) e é um dos fatores de maior relevância na função de remoção (Nervo et al. 2014). Assim, o desempenho funcional das espécies de escarabeíneos pode depender de suas características comportamentais, como a guilda funcional a que pertencem (e.g. Vulíneck 2002, Andresen 2003, Slade et al. 2007, Dangles et al. 2012), e de suas características morfológicas, como a biomassa corporal (Dangles et al. 2012, Braga et al. 2013, Nervo et al., 2014), que é um indicativo ecológico de tamanho. No entanto, as espécies ainda que morfologicamente similares, apresentam efeitos distintos sobre essas funções ecológicas (Vulíneck 2002, Anduaga e Huerta 2007). Essas diferenças funcionais entre as espécies podem ser observadas em experimentos que contemplam poucos indivíduos submetidos a condições experimentais similares (Galbiati et al. 1995, Hanafy 2012, Nervo et al. 2014). Isso sugere que outras características, intrínsecas das espécies, possam influenciar sua capacidade funcional (Nervo et al. 2014), no entanto, aspectos extrínsecos como o período de exposição ao recurso (Klein 1989, Amézquita e Favila 2011), o clima (Amézquita e Favila 2010, Dangles et al. 2012) e a densidade de indivíduos (Dangles et al. 2012, Braga et al. 2013) têm demonstrado efeitos significativos sobre o desempenho funcional das comunidades.

Na Mata Atlântica do sul do Brasil, *Canthon rutilans cyanescens* (Harold 1868) é comumente reportado em estudos de comunidades,

geralmente com elevada abundância, sendo um inseto relativamente pequeno (10 mm de comprimento e 0,14 g), de comportamento telecoprídeo, diurno e frequentemente considerado coprófago, embora possa ser atraído com iscas de carne em decomposição (Campos e Hernández 2014, Silva e Hernández 2014). *Deltochilum multicolor* Balthasar 1939 é um escarabeíneo telecoprídeo bastante generalista, de tamanho médio/grande (14 mm de comprimento e 0,47 g). De acordo com as abordagens funcionais (Vulínek 2002, Slade et al. 2007, Dangles et al. 2012) estas duas espécies pertencem a grupos com baixo desempenho nas funções ecológicas. Por outro lado, os paracoprídeos *Dichotomius sericeus* (Harold 1867) e *Phanaeus splendidulus* (Fabricius 1781), que também são de tamanho corporal médio/grande, o primeiro com 13 mm comprimento e 0,38 g e o segundo com 17 mm de comprimento e 0,48 g, pertencem ao grupo funcional mais eficiente nas funções ecológicas (Vulínek 2002, Slade et al. 2007, Dangles et al. 2012). Estas duas espécies são frequentemente consideradas coprófagas, mas também podem ser atraídas com iscas de carne em decomposição (Silva e Di Mari 2012, Campos e Hernández 2014). Por apresentarem características de interesse na investigação do desempenho funcional apresentado pelos escarabeíneos, essas quatro espécies podem ajudar a compreender os aspectos envolvidos na capacidade funcional das espécies e serem modelos para a quantificação deste desempenho.

Neste contexto, com experimentos realizados em um remanescente de Mata Atlântica o objetivo do trabalho foi descrever quantitativamente os aspectos da remoção de excremento e da dispersão secundária de sementes dessas quatro espécies para contribuir com o conhecimento sobre a função dos escarabeíneos e as implicações que a perda de espécies pode gerar no funcionamento dos ecossistemas e assim, subsidiar estratégias de conservação baseadas na manutenção de processos chaves. Além da descrição da capacidade funcional das quatro espécies, nossas previsões foram de que as espécies telecoprídeas e de biomassa corporal menor, apresentariam menor capacidade funcional em relação às espécies paracoprídeas e de biomassa maior. Outra previsão foi de que o período de exposição ao recurso e a densidade de indivíduos aumentariam a capacidade funcional dessas espécies em todas as funções ecológicas.

Métodos

Área de estudo e desenho experimental

Para descrever as funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar de escarabeíneos, foram realizados experimentos em condições ambientais naturais de Mata Atlântica no período de 27 de março a 13 de maio de 2014 (outono), no Parque Municipal da Lagoa do Peri, localizado na Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil (entre 27°42'30" e 27°46'30" S e entre 48°30'00" e 48°33'30" O), onde os organismos foram capturados. Embora as avaliações não tenham sido sincrônicas entre as espécies, os dados médios de temperatura máxima, mínima e pluviosidade foram similares no decorrer das observações (ANEXO III). A região, segundo os critérios de Köppen, apresenta classificação climática do tipo Cfa (Clima Mesotérmico Úmido) sem estação seca e com verão quente. Situada na zona intermediária subtropical, pertence ao grupo mesotérmico úmido "C", com a temperatura média do mês mais frio sendo maior do que 3 °C e menor que 18 °C e a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (Santos et al.1989).

Foram utilizados dois tipos de arenas: para as duas espécies de besouros telecoprídeos as arenas consistiram em 32 recipientes plásticos com 40 cm de diâmetro e 16 cm de profundidade, para as duas espécies de paracoprídeos os 32 recipientes eram de 20 cm de diâmetro e 23 cm de profundidade; ambos os tipos de arenas foram preenchidas com solo peneirado e levemente compactado, deixando uma margem de 5 cm antes da borda, para que o material processado ficasse retido (Figura 3-1). Em todos os tratamentos, as arenas receberam 30 g de excremento de cachorro doméstico previamente corado (Batilani-Filho e Hernández, submetido, capítulo 1), que foi dividido em três pelotas de 10 g cada: uma das pelotas continha 60 sementes artificiais (miçangas plásticas) de 2 mm de diâmetro, sendo denominadas sementes pequenas; a outra continha 10 sementes artificiais de 5 mm, sendo denominadas semente grandes e a terceira pelota continha somente fezes. A utilização de sementes artificiais de plástico tem sido empregada com sucesso nas avaliações das funções ecossistêmicas dos escarabeíneos (Slade et al. 2007, Braga et al. 2013). Com os besouros as arenas foram fechadas com tecido tipo véu e protegidas da chuva (Figura 3-1).



Figura 3 - 1. Arenas de avaliação e quantificação das funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar de escarabeíneos: (A) arena para os telecoprídeos com 30 g de excremento corado, divididos em três porções de 10 g cada - uma com 60 sementes artificiais de tamanho pequeno (2mm), uma com 10 sementes artificiais de tamanho médio (5mm) e uma sem sementes; (B) arena fechada com tecido tipo véu e (C) protegida da ação da chuva; D, E e F ilustram a mesma seqüência para as arenas dos paracoprídeos.

Foram conduzidos dois experimentos, com quatro réplicas cada: i) um para avaliar o efeito do período de exposição ao recurso e descrever quantitativamente as funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar de casais dos telecoprídeos *Canthon rutilans cyanescens* (Harold 1868) e *Deltochilum multicolor* Balthasar 1939 e dos paracoprídeos *Dichotomius sericeus* (Harold 1867) e *Phanaeus splendidulus* (Fabricius 1781); ii) um para avaliar e descrever quantitativamente o efeito da densidade de escarabeíneos sobre estas funções, sendo utilizadas duas espécies: *C. rutilans cyanescens* e *D. sericeus*, as quais foram observadas e avaliadas em casais e em grupos formados por três casais. Os dois experimentos foram realizados em três períodos de exposição do recurso: dois dias, sete dias e 21 dias, a exceção das espécies *D. multicolor* e *P. splendidulus*, as quais, devido ao número limitado de organismos coletados, foram avaliadas apenas no experimento que compreendia casais e nos períodos de dois e sete dias de exposição do recurso (Tabela 3-1).

Quantificação das funções ecológicas

As funções ecológicas quantificadas foram: i) remoção de excremento (em g), obtido a partir da diferença entre o recurso fornecido (30 g) e o restante encontrado após o período de exposição; ii) alocação do excremento removido (em g), calculado a partir da soma do peso das bolas de alimentação deixadas na superfície ou enterradas pelos telecoprídeos ou pela soma do material amórfico introduzidos nos túneis subterrâneos dos paracoprídeos; iii) dispersão secundária de sementes de tamanho pequeno e grande, obtido a partir da diferença entre a quantidade de sementes artificiais fornecidas e a quantidade encontrada no recurso não removido; iv) alocação de sementes de tamanho pequeno e grande, obtida a partir da quantidade de sementes inseridas nas bolas de recurso confeccionadas pelos telecoprídeos ou enterradas nos túneis dos paracoprídeos (Tabela 3-1). Além disso, outras medidas associadas ao comportamento dos escarabeíneos foram obtidas para cada experimento envolvendo os telecoprídeos: quantidade, peso e diâmetro de cada bola de alimentação, sendo o peso medido em balança analítica Quimis Modelo Q-500L210C e o diâmetro medido com um paquímetro através de três medições por bola (Tabela 3-1; Figura 3-2). Quanto aos experimentos envolvendo os paracoprídeos, as medidas associadas às funções foram: quantidade, diâmetro da abertura e profundidade dos túneis, obtidos com paquímetro e régua milimétrica respectivamente (Tabela 3-1; Figura 3-2).

Tabela 3 - 1. Resumo dos tratamentos conduzidos para descrever a capacidade funcional das espécies *Canthon rutilans cyanescens* e *Deltochilum multicolor* (telecoprídeos) e por *Dichotomius sericeus* e *Phanaeus splendidulus* (paracoprídeos) e avaliar o efeito do período de exposição ao recurso e o efeito da densidade de indivíduos sobre as funções ecológicas associadas ao seu comportamento alimentar.

Tratamentos				Funções ecológicas e medidas associadas ao comportamento alimentar das espécies										
Espécie	Densidade	Período de exposição	Réplicas	Remoção (g)	Alocação (g)	Dispersão secundária			Bolas de alimentação			Túneis		
						Quantidade	Alocação	Profundidade (cm)	Quantidade	Diâmetro (mm)	Peso (g)	Quantidade	Diâmetro (mm)	Profundidade (cm)
<i>Canthon rutilans cyanescens</i>														
Casal	2 dias	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	7 dias	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	21 dias	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Grupo	2 dias	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	7 dias	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	21 dias	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Deltochilum multicolor</i>														
Casal	2 dias	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	7 dias	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Dichotomius sericeus</i>														
Casal	2 dias	4	X	X	X	X	X	X				X	X	X
	7 dias	4	X	X	X	X	X	X				X	X	X
	21 dias	4	X	X	X	X	X	X				X	X	X
Grupo	2 dias	4	X	X	X	X	X	X				X	X	X
	7 dias	4	X	X	X	X	X	X				X	X	X
	21 dias	4	X	X	X	X	X	X				X	X	X
<i>Phanaeus splendidulus</i>														
Casal	2 dias	4	X	X	X	X	X	X				X	X	X
	7 dias	4	X	X	X	X	X	X				X	X	X

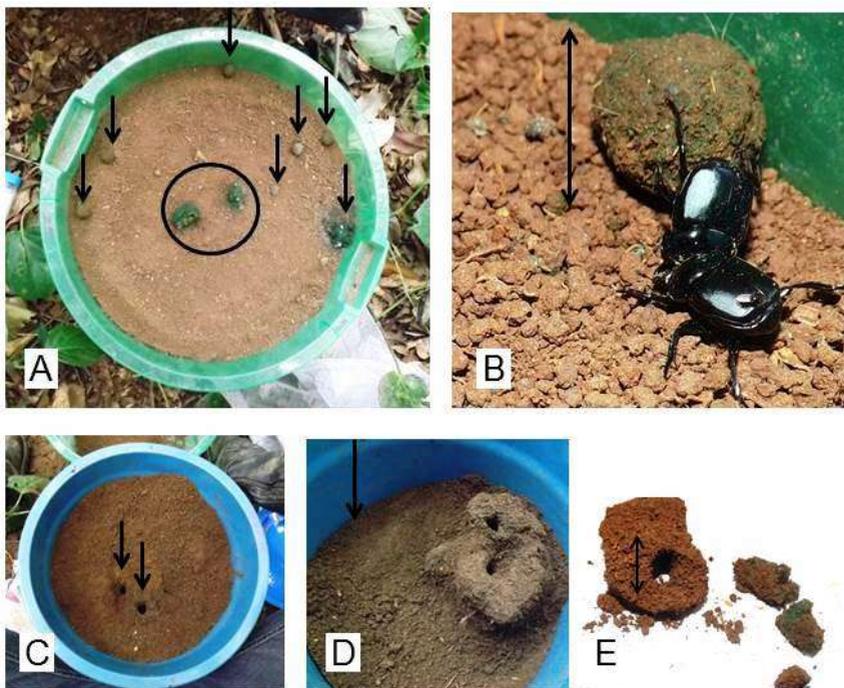


Figura 3 - 2. (A) setas indicam as bolas de alimentação confeccionadas pelos telecoprídeos, círculo indica o excremento não removido; (B) bola de alimentação confeccionada por *Canthon rutilans cyanescens*, seta indica como o tamanho foi medido; (C) setas indicam os túneis construídos pelos paracoprídeos; (D) seta indica como a profundidade dos túneis foi medida; (E) seta indica como a abertura dos túneis foi medida e demonstra o material amórfico alocado no interior dos túneis.

Análise dos dados

Os dados de cada período de exposição ao recurso foram adquiridos de forma independente, provenientes das réplicas destinadas ao tratamento em questão, ou seja, os valores descritos para os casais ou grupos não são acumulativos em função do tempo. Assim, a capacidade funcional dos casais ou grupos foi caracterizada com a média obtida das quatro réplicas por período. Posteriormente, a influência do período de

exposição ao recurso sobre esta capacidade funcional foi analisada com o teste *t* para os experimentos com apenas dois períodos de exposição (*D. multicolor* e *P. splendidulus*); os experimentos envolvendo três períodos de exposição ao recurso, também combinaram a densidade de indivíduos (*C. rutilans* e *D. sericeus*), e neste caso, a influência destas variáveis sobre a capacidade funcional média das espécies foi analisada com uma ANOVA de dois fatores com teste *pos hoc* par a par de Tukey (Crawley 2007), tendo a densidade (casais ou grupo) e o período de exposição como fatores.

Com as médias de remoção e dispersão secundária de sementes, provenientes das medidas feitas em casais nos períodos de dois e sete dias, foi comparado o desempenho funcional das espécies na remoção de excremento e na dispersão secundária de sementes pequenas e grandes. A partir dos dados de biomassa desses casais foi feita uma estimativa da remoção efetuada por uma biomassa padronizada de 1 g. Estas comparações utilizaram uma ANOVA de dois fatores com teste *pos hoc* par a par de Tukey, tendo a espécie e o período de exposição como fatores. Além disso, a dispersão de sementes pequenas e grandes foi correlacionada com a quantidade de excremento removido através do coeficiente de Sperman, para verificar o quanto esta função está associada à remoção.

Na ausência de dados em uma das réplicas foi utilizada a média do tratamento (profundidade de enterrio das sementes pequenas e grandes em dois e sete dias para os casais e grupos de *D. sericeus*; profundidade das sementes pequenas em dois dias para *P. splendidulus*), quando este procedimento não foi possível, apenas descrevemos a capacidade funcional (dados da bola de alimentação em dois dias para *D. multicolor*). Os dados foram verificados quanto à homocedasticidade e testados quanto à normalidade de seus resíduos; quando necessário os dados foram transformados com $\log x+1$ e quando a distribuição normal não foi obtida, o teste de Wilcoxon foi utilizado (Crawley 2007). Todos os testes e os gráficos foram realizados no programa R (R Core Team, 2014) utilizando os pacotes *vegan* (Oksanen et al. 2013), *Hmisc* (Harrell e Dupont 2014) e *MASS* (Venables e Ripley 2002).

Resultados

Descrição quantitativa da remoção de excremento e análise da influência do período de exposição e da densidade sobre a capacidade funcional de Canthon rutilans cyanescens (Harold, 1868)

A capacidade média de remoção de excremento apresentada pelos casais de *Canthon rutilans cyanescens* (Harold, 1868) foi de 1,4 g ($s = 1,8$) em dois dias, o que equivale a 4,7% do recurso; em sete dias a média foi aproximadamente seis vezes maior, com 9,4 g ($s = 3,4$) de remoção, ou seja, 31,4% do recurso e em 21 dias 71,8% do recurso disponível foram removido, média 21,5 g ($s = 1,9$) de excremento por casal. Em maior densidade, em dois dias a média de remoção por grupo foi de 10,1 g ($s = 5,2$) de excremento, o que equivale a 33,4% do recurso; em sete dias a média quase dobrou com 19,0 g ($s = 2,5$) de excremento, ou seja, 63,3% do recurso e, em 21 dias, se mantiveram similar ao período anterior, em média 20,0 g ($s = 3,4$) de excremento ou 63,36% do recurso disponível foi removido neste período. Assim, a capacidade funcional de remoção de excremento apresentada por *C. rutilans* aumentou com a densidade [$F=42,73$; $p<0,01$] e com o período de exposição ao recurso [$F=17,70$; $p<0,01$] e houve interação entre estes fatores [$F=7,39$; $p<0,01$]. Neste sentido, os casais levaram sete dias para remover a mesma quantidade que os grupos removeram em dois dias. Também foi constatado que a capacidade máxima dos grupos foi alcançada em sete dias e que esta mesma capacidade foi apresentada pelos casais apenas em 21 dias de exposição ao recurso (Figura 3-3).

Quanto à capacidade de alocação do material removido por casal nas bolas de alimentação, em dois dias de exposição ao recurso apenas um dos quatro casais apresentou este tipo de comportamento. Neste período, a média foi de 0,7 g ($s = 1,4$) de excremento alocados por casal (2 bolas no total); em sete dias quatro vezes mais alocação foi observada, com média de 3,3 g ($s = 1,4$) (7 bolas no total) e em 21 dias, esta quantidade dobrou, sendo a média de 6,1 g ($s = 2,3$) em aproximadamente cinco bolas por casal (19 bolas no total). No experimento realizado com maior densidade, em dois dias a média foi de 6,1 g ($s = 4,1$) de excremento alocado em aproximadamente 4 bolas de alimentação por grupo (16 bolas no total); em sete dias a média foi de 4,7 g ($s = 2,6$) de excremento alocado em aproximadamente cinco bolas de alimentação por grupo (19 bolas no total) e; em 21 dias a média foi de 3,81 g ($s = 1,8$) de excremento em aproximadamente quatro bolas de alimentação por grupo (15 bolas no total) (Tabela 3-1). A capacidade funcional de alocação do material removido em bolas de alimentação apresentado por *C. rutilans* não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [$F=0,80$; $p=0,46$] e nem pela densidade [$F=2,29$; $p=0,14$], mas a interação destes fatores evidenciou que quando

estão em baixa densidade os resultados não seguem o mesmo padrão que quando estão em maior densidade [$F=5,78$; $p=0,02$] (Figura 3-3).

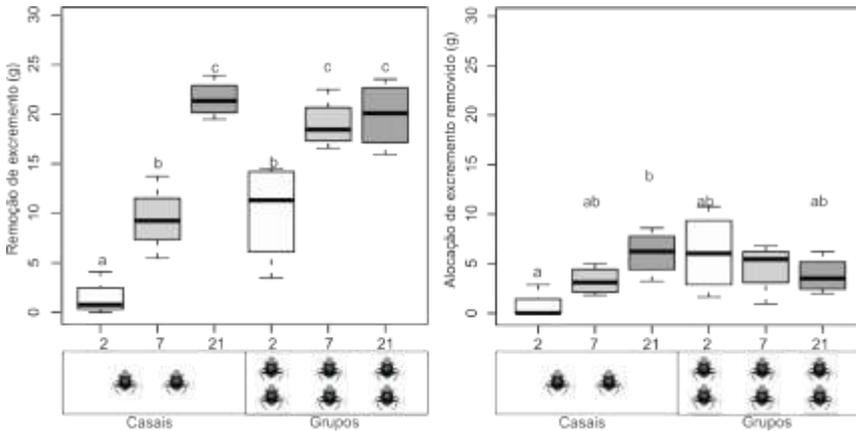


Figura 3 - 3. Capacidade funcional de remoção de excremento e de alocação do excremento removido por *Canthon rutilans cyanescens* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

Quanto à capacidade funcional de dispersão secundária de sementes artificiais, em dois dias de exposição à média por casal foi de 0,75 sementes pequenas ($s = 1,5$), ou seja, apenas 1,2% das sementes foram dispersas; em sete dias a média de dispersão aumentou para 16,5 sementes ($s = 11,6$), ou seja, 27,5% do total, e; em 21 dias a média de dispersão foi de 27 sementes ($s = 13,5$), compreendendo 45% do total de sementes pequenas disponíveis. Dessas sementes dispersadas pelos casais, em média 25% foram alocadas nas bolas de alimentação no período de dois dias, 3,5% em sete dias e 17% em 21 dias (Figura 3-4). Em maior densidade, em dois dias a média de dispersão por grupo foi de 29,3 sementes pequenas ($s = 25,2$), o que compreendeu 48,7% do total; em sete dias a média foi de 12,5 sementes ($s = 19,0$), compreendendo 20,8% do total e; em 21 dias a média foi de 14 sementes ($s = 13,0$), compreendendo 23,3% do total de sementes pequenas disponíveis. Dessas sementes dispersadas pelos grupos, em média 35,0% foram alocadas nas bolas de alimentação no período de dois dias, 8,2% em sete dias e 2,0% em 21 dias (Figura 3-4). Como observado na alocação do excremento removido, à capacidade funcional de dispersão secundária de

sementes pequenas, apresentada por *C. rutilans* não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [F=1,49; p=0,25] e nem pela densidade de indivíduos [F=0,33; p=0,85], mas a interação destes fatores evidenciou que o comportamento é diferente quando os casais se encontram sozinhos em relação a quando estão em grupos com maiores densidades [F=6,54; p<0,01] (Figura 3-4). De maneira similar, a quantidade de sementes que foram alocadas nas bolas de alimentação não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [F=1,3; p=0,30] e nem pela densidade [F=1,9; p=0,18] (Figura 3-4) (Figura 3-4).

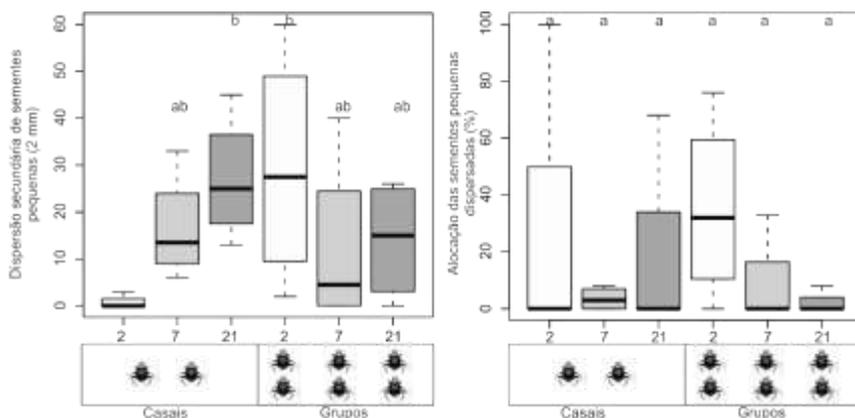


Figura 3 - 4. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes pequenas e alocação dessas sementes nas bolas de alimentação confeccionadas por casais e grupos de *Canthon rutilans cyanescens* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

No caso das sementes de tamanho grande, a dispersão foi pouco observada: em dois dias não ocorreu dispersão, em sete dias a média foi de 2,0 sementes por casal ($s = 4,0$), o que equivale a 20 % do total e em 21 dias a média foi de 2,7 sementes ($s = 4,85$) compreendendo 27,5% do total. Em maior densidade, em dois dias a média da dispersão por grupo foi de 2,5 sementes grandes ($s = 5,0$) o que equivale a 25% do total; em sete dias a média foi de 5 sementes ($s = 3,9$), o equivalente a 50% do total e; em 21 dias a média foi de 2,5 sementes ($s = 3,8$), ou seja, 25% do total de sementes disponíveis. Apenas os casais, no período de dois dias, alocaram sementes de tamanho grande nas bolas de alimentação, essa alocação

compreendeu 3,2% do total de sementes dispersadas neste tratamento. Assim, capacidade funcional de dispersão secundária de sementes grandes, realizada por *C. rutilus* não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [F=3,00; p=0,37] e nem pela densidade [F=2,22; p=0,94] (Figura 3-5).

Em dois dias o comportamento de confeccionar bolas de alimento com o excremento alocado foi pouco observado entre os casais, com média de 0,5 bolas ($s = 1,0$), mas a quantidade aumentou com o período de exposição ao recurso, em sete dias a média foi de 1,7 bolas ($s = 0,9$) e em 21 dias a média foi de 4,7 bolas ($s = 1,7$). Em maior densidade, no período de dois dias os grupos confeccionaram em média 4 bolas de alimentação ($s = 1,6$), em sete dias a média foi de 4,7 bolas ($s = 2,9$) e em 21 dias a média foi de 3,7 bolas ($s = 1,7$) (Tabela 3-2). A quantidade de bolas de alimentação confeccionada aumentou com a densidade [F=10,17; $p < 0,01$] e com o período de exposição ao recurso [F=4,89; $p = 0,02$] e houve interação entre estes fatores [F=5,74; $p = 0,01$], sendo que os casais, expostos ao recurso por dois e sete dias, foram os menos eficientes neste comportamento (Tabela 3-2). Quanto às demais características destas bolas de alimentação: o diâmetro médio não foi influenciado pelo período de exposição ao recurso [F=0,93; $p = 0,41$], mas, foi maior quando em menor densidade [F=5,35; $p = 0,03$]. Este padrão também foi observado para o peso médio, que não foi influenciado pelo período de exposição [F=0,25; $p = 0,78$], mas reduziu com o aumento da densidade [F=9,14; $p < 0,01$] (Tabela 3-2).

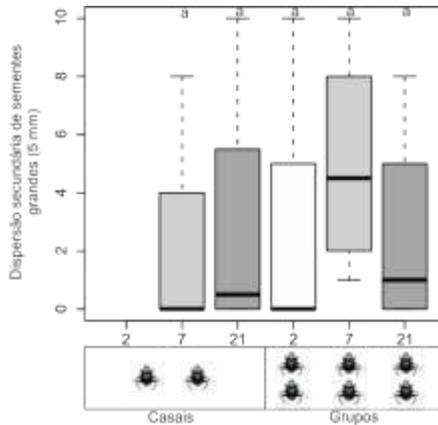


Figura 3 - 5. Capacidade funcional de dispersão secundária de semente grande efetuada por casais e grupos de *Canthon rutilans cyanescens* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

Tabela 3 - 2. Número, diâmetro e peso das bolas de alimentação confeccionadas por *Canthon rutilans cyanescens* de acordo com a densidade e o período de exposição ao recurso. Na coluna, letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

EXPERIMENTOS		OBSERVAÇÕES								
Densidade	Período de Exposição	Número de bolas de alimentação			Diâmetro (mm)			Peso (g)		
		Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
Casal	2 dias	2	0	0,5 ^a	13,33	9,33	11,33 ^{ab}	2,03	0,84	1,44 ^{ab}
	7 dias	3	1	1,7 ^{ab}	12,33	11,33	11,90 ^a	2,40	1,67	1,96 ^a
	21 dias	7	3	4,7 ^b	11,67	9,33	10,96 ^b	1,80	0,79	1,51 ^{ab}
Grupo	2 dias	6	2	4,0 ^{ab}	12,75	9,33	10,79 ^{ab}	2,00	0,82	1,46 ^{ab}
	7 dias	7	1	4,7 ^b	11,43	9,29	10,45 ^b	1,31	0,81	1,01 ^b
	21 dias	6	2	3,7 ^{ab}	11,0	9,33	9,97 ^{ab}	1,43	0,96	1,19 ^{ab}

Descrição quantitativa da remoção de excremento e análise da influência do período de exposição sobre a capacidade funcional de Deltochilum multicolor Balthasar 1939

A capacidade funcional média de remoção de excremento apresentada pelos casais de *Deltochilum multicolor* Balthasar 1939 em dois dias foi de 4,4 g de excremento ($s = 3,8$), e o dobro em sete dias, com média

de 10,0 g ($s = 4,0$), ou seja, 14,6 % e 33,2% do recurso fornecido, respectivamente. Este comportamento não foi influenciado pelo período de exposição ao recurso [$t=2,01$; $p=0,09$]. Quanto à alocação do material removido em bolas de alimentação, em dois dias a média de alocação apresentada pelos casais foi de 1,5 g do excremento removido ($s = 3,1$) (1 bola no total) e em sete dias a média foi de 2,5 g de excremento ($s = 2,2$) (quatro bolas no total). Esta capacidade também não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [$t=0,50$; $p=0,63$] (Figura 3-6).

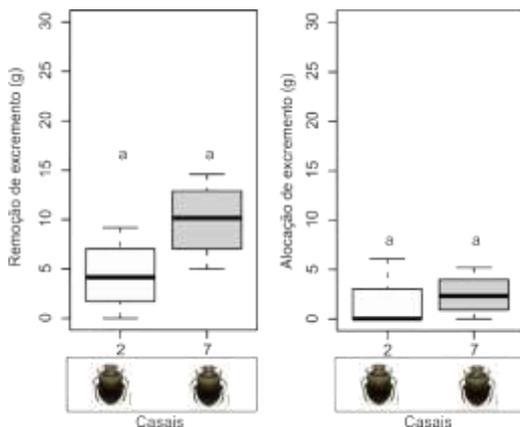


Figura 3 - 6. Capacidade funcional de remoção de excremento e alocação do excremento removido por *Deltochilum multicolor* em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$).

Quanto à capacidade funcional de dispersão secundária de sementes, em dois dias os casais dispersaram em média 16,2 sementes pequenas ($s = 24,4$), o que compreendeu 27,1% do total disponível. Em sete dias o número de sementes dispersadas quase dobrou com a média de 30,5 sementes ($s = 23,7$), ou seja, 50,8% do total (Figura 3-4). Quanto à alocação dessas sementes em bolas de alimentação, em dois dias em média 10,5% das sementes dispersadas foram alocadas e em sete dias a média foi de 29,7% das sementes dispersadas. Entretanto, a capacidade de dispersão de sementes pequenas não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [$t=0,83$; $p=0,43$], assim como a capacidade de alocar essas sementes nas bolas de alimentação [$t=1,14$; $p=0,29$] (Figura 3-7). No caso

das sementes de tamanho grande, foram dispersas menos de duas sementes por casal no período de dois dias, média de 1,3 sementes grandes ($s = 1,5$) e em sete dias, aproximadamente 70% das sementes deste tamanho foram dispersas, com uma média de 7,5 sementes ($s = 4,8$). A dispersão de sementes grandes também não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [$W=3$; $p=0,18$] e não houve alocação deste tipo de semente nas bolas de alimentação confeccionadas pelos casais desta espécie (Figura 3-7).

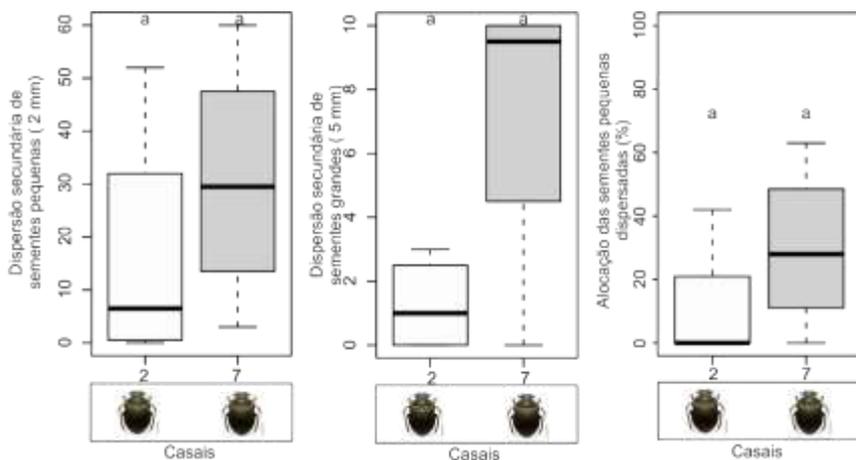


Figura 3 - 7. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes pequenas e grandes e alocação das sementes pequenas nas bolas de alimentação confeccionadas pelos casais de *Deltochilum multicolor* em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$).

Em dois dias, apenas um dos quatro casais apresentou o comportamento de confeccionar bolas de alimentação com o excremento, em sete dias três dos quatro casais fizeram ao menos uma bola, entretanto, esta capacidade não foi significativamente influenciada pelo período de exposição ao recurso [$t=1,56$; $p=0,17$]. A bola de alimentação feita em dois dias apresentou 19 mm de diâmetro e pesou 6,7 g, ao passo que em sete dias elas apresentaram o tamanho médio de 13,8 mm ($s = 0,7$) e pesaram em média 2,4 g ($s = 0,4$) (Tabela 2-3).

Tabela 3 - 3. Número, diâmetro e peso das bolas de alimentação confeccionadas por *Deltochilum multicolor* de acordo o período de exposição ao recurso.

EXPERIMENTOS		OBSERVAÇÕES								
Densidade	Período de Exposição	Número de bolas de alimentação			Diâmetro (mm)			Peso (g)		
		Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
Casal	2 dias	1	0	0,25	19,00			6,70		
	7 dias	2	1	1,00	14,67	13,00	13,78	2,81	1,84	2,42

*Descrição quantitativa da remoção de excremento e análise da influência do período de exposição e da densidade sobre a capacidade funcional de *Dichotomius sericeus* (Harold 1867)*

A capacidade média de remoção de excremento apresentada pelos casais de *Dichotomius sericeus* (Harold 1867) em dois dias foi de 10,3 g ($s = 2,9$), o que equivale a 34,4% do recurso disponível; em sete dias esta capacidade dobrou com a média de 23,9 g ($s = 3,4$), ou seja, quase 80% do recurso disponível e; em 21 dias 92,1% do recurso foi removido, com uma média de 27,6 g ($s = 1,1$). Quando submetidos a maior densidade, já em dois dias a média de remoção por grupo foi de 20,4 g ($s = 5,3$), o equivalente a 67,7% do recurso; em sete dias os grupos removeram em média 26,8 g ($s = 2,5$), ou seja, 89,3% do recurso e em 21 dias, quase 100% do recurso foram removidos, com a média de 29,2 g ($s = 0,9$). Assim, a remoção de excremento executada por *D. sericeus* aumentou com o aumento da densidade de indivíduos [$F=15,05$; $p<0,01$] e com o período de exposição ao recurso [$F=39,39$; $p<0,01$] e houve interação entre estes fatores [$F=4,47$; $p=0,01$]. Os casais desta espécie levaram sete dias para remover a mesma quantidade que os grupos removeram em dois dias, mas neste período, assim como em 21 dias, os casais e os grupos foram similares em sua capacidade de remoção (Figura 3-8).

Quanto à capacidade de alocação do material removido em túneis subterrâneos, em dois dias de exposição ao recurso os casais alocaram em média de 9,9 g ($s = 3,0$); em sete dias a média foi de 19,6 g ($s = 0,8$) e; em 21 dias a média de excremento encontrada nessas galerias foi menor, com 13,7 g ($s = 3,9$). Quando submetidos a maior densidade, em dois dias os grupos alocaram em média 19,3 g ($s = 4,2$); em sete dias a média foi de 22,6 g ($s = 1,8$) e; em 21 dias a média de excremento encontrada nos túneis também foi menor, com 13,7 g ($s = 5,5$). Tanto a densidade de indivíduos [$F=8,68$; $p<0,01$] quanto o período de exposição ao recurso [$F=10,79$; $p<0,01$] aumentaram a quantidade de excremento alocado nos túneis. Assim

como na remoção, os casais levaram sete dias para apresentarem a mesma capacidade que os grupos já apresentaram em dois dias (Figura 3-8).

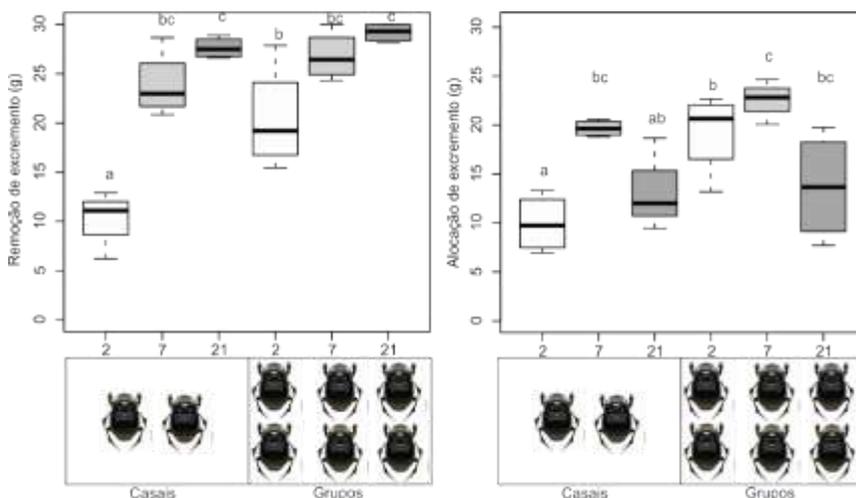


Figura 3 - 8. Capacidade funcional de remoção de excremento e de alocação do excremento removido por *Dichotomius sericeus* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

Quanto à capacidade funcional de dispersão secundária de sementes, em dois dias a média dos casais foi de 18,5 sementes pequenas ($s = 21,2$), o que equivale a 30,4% das sementes disponíveis; em sete dias a dispersão média aumentou para 48,8 sementes ($s = 10,5$), ou seja, 81,2% do total; em 21 dias a média foi de 43 sementes ($s = 17,8$) compreendendo 71,6% do total de sementes disponíveis. A alocação média dessas sementes dispersadas pelos casais para dentro dos túneis subterrâneos foi de 45,5% das sementes dispersadas em dois dias, 83,0% em sete dias e 82,3% em 21 dias (Figura 3 - 9). Em maior densidade, a média de dispersão por grupo em dois dias foi de 42,3 sementes pequenas ($s = 28,6$), o que equivale a 70,4% das sementes disponíveis; em dois dias a média foi de 45,3 sementes ($s = 15,3$), ou seja, 75,4% do total e; em 21 dias a dispersão efetuada pelos grupos foi de quase 100%, ou seja, média de 57,6 sementes ($s = 4,0$). Quanto à alocação média efetuada pelos grupos para dentro dos túneis, em dois dias 74,3% das sementes dispersadas foram alocadas, em sete dias

92,3% e em 21 dias 86,3% (Figura 3 - 9). A capacidade de dispersão secundária de sementes pequenas não foi influenciada pela densidade de indivíduos [$F=2,52$; $p=0,12$] e nem pelo período de exposição ao recurso [$F=2,84$; $p=0,08$]. Este padrão também foi o observado para a alocação dessas sementes nos túneis subterrâneos, considerando a densidade de indivíduos [$F=3,42$; $p=0,08$] e o período de exposição [$F=1,43$; $p=0,26$] (Figura 3-9).

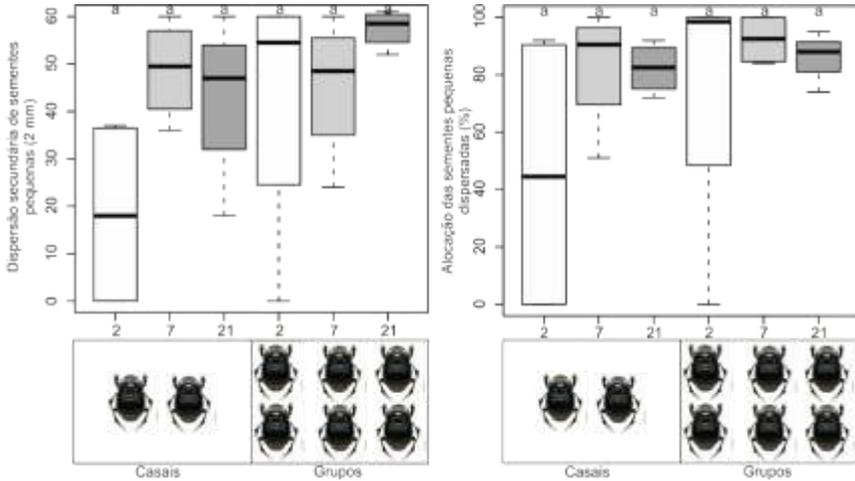


Figura 3 - 9. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes pequenas e alocação dessas sementes nos túneis subterrâneos construídos por casais e grupos de *Dichotomius sericeus* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

Na dispersão secundária de sementes grandes, em dois dias os casais dispersaram em média 3 sementes ($s = 4,7$), o que equivale a 30,0% do total disponível; em sete dias a dispersão dobrou, média de 6 sementes ($s = 4,9$) ou seja, 60,0%) e; em 21 dias praticamente 100% das sementes grandes foram dispersas, média de 9,7 sementes ($s = 0,5$). A alocação média dessas sementes dispersadas, efetuada pelos casais para dentro dos túneis subterrâneos, foi de 75,0% das sementes dispersadas em dois dias, 58,7% em sete dias e 87,5% em 21 dias (Figura 3 - 10). Em maior densidade, em dois dias a média de dispersão por grupo foi de 5,7 sementes grandes ($s =$

4,3); em sete dias a média foi de 6,5 sementes ($s = 2,5$), ou seja, 65,0% do total; assim como para os casais, em 21 dias praticamente 100% das sementes grandes foram dispersas, média de 9,7 sementes ($s = 0,5$). Quanto à alocação média dessas sementes para dentro dos túneis, em dois dias os grupos alocaram 67,0% das sementes dispersadas, em sete dias 87,5% e em 21 dias 73,0% (Figura 3-10). A capacidade de dispersão secundária de sementes grandes não foi influenciada pela densidade de indivíduos [$F=0,64$; $p=0,43$], mas aumentou com o aumento do período de exposição ao recurso [$F=10,70$; $p<0,01$]. Os casais em sete dias de exposição tiveram a mesma capacidade que os grupos apresentaram em dois dias, no entanto, após este período, ambas as densidades foram equivalentes em termos funcionais (Figura 3-10). A alocação das sementes grandes em túneis subterrâneos também não sofreu influência da densidade de indivíduos [$F=0,16$; $p=0,69$] ou do período de exposição ao recurso [$F=2,50$; $p=0,11$] (Figura 3-10).

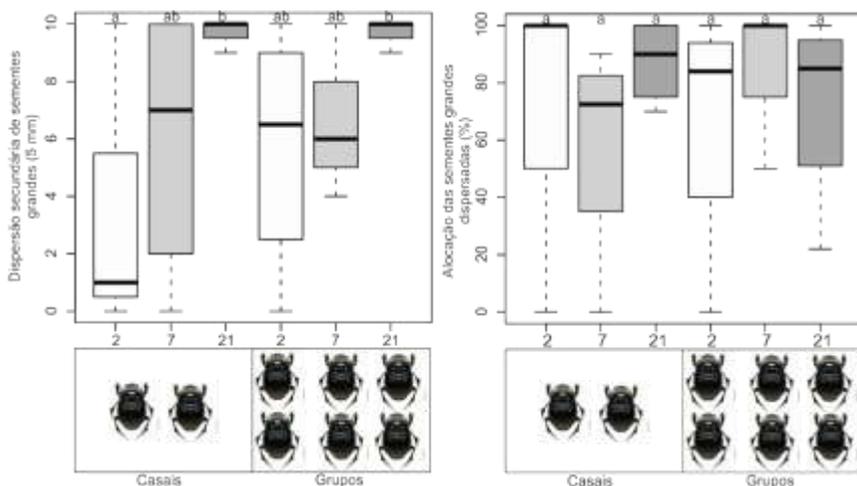


Figura 3 - 10. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes grandes e alocação dessas sementes nos túneis subterrâneos construídos por casais e grupos de *Dichotomius sericeus* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

A profundidade média em que ocorreu a alocação das sementes dispersadas pelos casais de *D. sericeus* para o interior dos túneis subterrâneos foi de 5,5 cm ($s = 0,6$) para as sementes pequenas e 7,6 cm ($s = 2,3$) para as sementes grandes; em sete dias o enterrio das sementes pequenas foi a 8,7 cm ($s = 3,1$) e as grandes a 10,1 cm ($s = 2,8$) e; em 21 dias o enterrio das sementes pequenas foi a 7,7 cm ($s = 2,6$) e das grandes a 10,7 cm ($s = 3,4$). Em maior densidade de indivíduos as sementes pequenas foram enterradas pelos grupos a uma profundidade média de 9,4 cm ($s = 2,8$) em dois dias, 12,1 cm ($s = 3,8$) em sete dias e 8,7 cm ($s = 3,63$) em 21 dias, as sementes grandes foram enterradas a uma profundidade média de 9,0 cm ($s = 2,3$) em dois dias, 13,6 cm ($s = 2,3$) em sete dias e 8,2 cm ($s = 2,9$) em 21 dias (Figura 3-11). A profundidade de enterrio das sementes pequenas aumentou com a densidade [$F=5,51$; $p=0,03$], mas não com o período de exposição ao recurso [$F=2,27$; $p=0,13$], sendo que os casais enterraram mais superficialmente, especialmente em dois dias (Figura 3-10). A profundidade em que as sementes grandes foram enterradas não foi influenciada pela densidade de indivíduos [$F=0,02$; $p=0,96$], mas aumentou com o aumento do período de exposição ao recurso [$F=4,63$; $p=0,02$], sendo que em ambas as densidades o enterrio de sementes grandes foi mais superficial em dois dias (Figura 3-11).

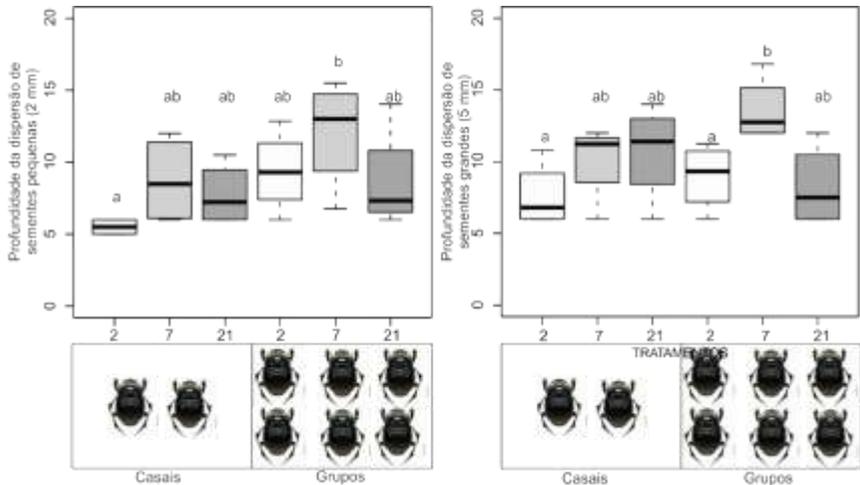


Figura 3 - 11. Profundidade de enterrio de sementes pequenas e grandes dispersadas por *Dichotomius sericeus* em dois, sete e 21 dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

Por fim, em média os casais de *D. sericeus* construíram menos de dois túneis no período de dois dias, média de 1,7 túneis ($s = 0,5$) e esta média aumentou para 3 túneis ($s = 1,4$) em sete dias reduziu para e 3,3 túneis ($s = 0,9$) em 21 dias. Em maior densidade, os grupos fizeram em média 5,7 túneis ($s = 1,2$) em dois dias, 6 túneis ($s = 0,8$) em sete dias e 5,6 túneis ($s = 1,7$) em 21 dias. O período de exposição ao recurso não interferiu na quantidade de túneis construídos [$F=0,84$; $p=0,44$], mas em grupos a quantidade túneis foi maior [$F=38,88$; $p<0,01$], assim os casais foram menos eficientes, especialmente em dois e sete dias (Tabela 3-4). Quanto ao diâmetro de abertura dos túneis, eles foram similares independentes da densidade de indivíduos [$F=0,01$; $p=0,91$] e do período de exposição [$F=0,59$; $p=0,56$]. A profundidade destes túneis também não sofreu influência da densidade de indivíduos [$F=0,30$; $p=0,58$] ou do período de exposição ao recurso [$F=0,30$; $p=0,74$] (Tabela 3-4).

Tabela 3 - 4. Número, diâmetro e profundidade dos túneis construídos por *Dichotomius sericeus* de acordo com a densidade e o período de exposição ao recurso. Na coluna, letras indicam diferenças significativas entre os tratamentos.

EXPERIMENTOS		OBSERVAÇÕES								
Densidade	Período de Exposição	Número de túneis			Diâmetro (mm)			Profundidade (cm)		
		Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máxima	Mínima	Média
Casal	2 dias	2	1	1,75a	13,00	11,25	12,06	9,00	6,50	7,13
	7 dias	5	2	3,00a	11,80	10,50	11,26	12,60	1,50	6,65
	21 dias	4	2	3,25ab	10,83	13,25	12,21	5,00	12,00	7,31
Grupo	2 dias	7	4	5,75b	12,58	10,50	11,71	7,86	1,67	5,40
	7 dias	7	5	6,00b	12,90	10,79	11,98	7,33	4,00	6,42
	21 dias	7	3	5,25b	11,25	12,50	11,94	8,33	4,80	7,13

Descrição quantitativa da remoção de excremento e análise da influência do período de exposição sobre a capacidade funcional de Phanaeus splendidulus (Fabricius 1781)

A capacidade média de remoção de excremento apresentada pelos casais de *Phanaeus splendidulus* (Fabricius 1781) foi de 11,9 g ($s = 6,6$) em dois dias, o que equivale a 39,6% do recurso oferecido e, em sete dias esta capacidade dobrou, com 21,8 g ($s = 3,1$), ou seja, eles removeram aproximadamente 72,7% do recurso disponível, sendo que o período de exposição ao recurso aumentou a capacidade de remoção desta espécie [$t=2,72$; $p=0,04$] (Figura 3-12). Quanto à alocação do excremento removido em túneis subterrâneos, em média os casais alocaram 10,2 g ($s = 7,8$) do excremento em dois dias e 17,1 g ($s = 4,2$) em sete dias, no entanto, esta capacidade não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [$t=1,55$; $p=0,18$] (Figura 3-12).

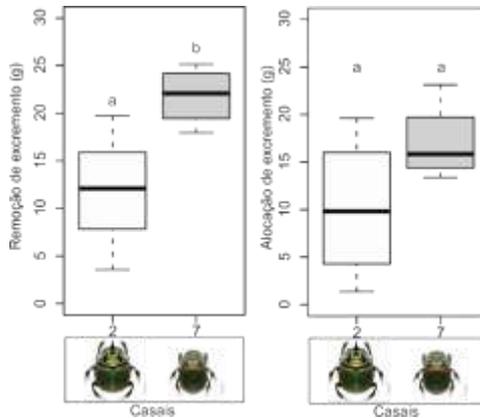


Figura 3 - 12. Capacidade funcional de remoção de excremento e alocação do excremento removido *Phanaeus splendidulus* em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Quanto à dispersão secundária de sementes, em dois dias os casais dispersaram 33,3 % das sementes pequenas, média de 20 sementes ($s = 27,3$) e em sete dias 58,3% das sementes pequenas foram dispersas, média de 35,3 sementes ($s = 21,0$). Quanto à alocação dessas sementes para o interior dos túneis subterrâneos, em dois dias a média foi 75,0% e em sete dias de 98,2% (Figura 3-12). Deste modo, a capacidade de dispersão secundária de sementes pequenas não foi influenciada pelo período de exposição ao recurso [$t=0,88$; $p=0,41$], assim como a alocação dessas sementes para o interior dos túneis [$t=0,39$; $p=0,71$] (Figura 3-13). No caso das sementes grandes, em dois dias os casais dispersaram 50,0% dessas sementes, média de 5 sementes grandes ($s = 5,7$), já em sete dias, 90,0% dessas sementes foram dispersas, média de 9 sementes grandes ($s = 2,0$). Quanto à alocação dessas sementes grandes que foram dispersadas, os casais alocaram em média 50,0% e 100%, em dois e sete dias, respectivamente (Figura 3-13). Entretanto, o período de exposição ao recurso também não foi determinante na dispersão [$t=1,30$; $p=0,26$] e nem na alocação das sementes grandes [$t=1,73$; $p=0,18$] (Figura 3-13).

A profundidade média em que ocorreu a alocação das sementes dispersadas pelos casais *P. splendidulus* para o interior dos túneis subterrâneos foi de 6,7 cm ($s = 2,2$) para as sementes pequenas e 8,3 cm ($s = 1,8$) para as sementes grandes; em sete dias o enterrio das sementes

pequenas foi a 11,4 cm ($s = 2,9$) e as grandes a 10,5 cm ($s = 1,0$). Neste sentido, com aumento do período de exposição ao recurso aumentou a profundidade de enterrio das sementes pequenas [$t=2,54$; $p=0,04$], mas não de sementes grandes [$t=2,03$; $p=0,10$] (Figura 3-14).

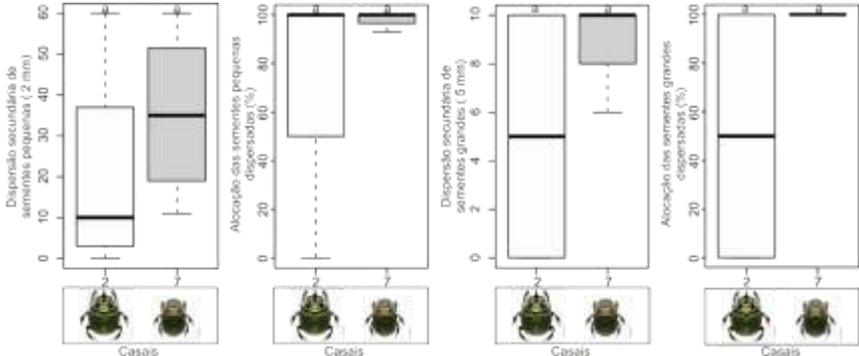


Figura 3 - 13. Capacidade funcional de dispersão secundária de sementes pequenas e grandes e alocação dessas sementes nos túneis subterrâneos construídos por casais de *Phanaeus splendidulus* em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$).

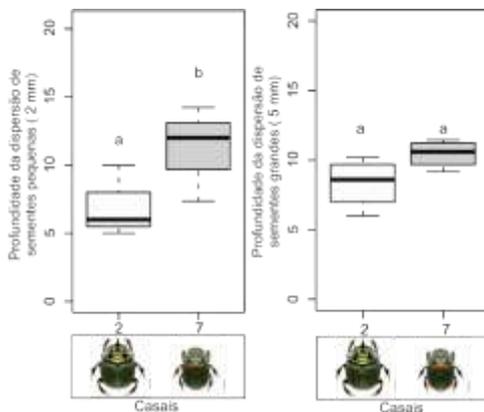


Figura 3 - 14. Profundidade de enterrio de sementes pequenas e grandes dispersadas por *Phanaeus splendidulus* em dois e sete dias de exposição ao recurso (mediana, primeiro e terceiro quartil, limites inferiores e superiores). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Por fim, os casais de *P. splendidulus* construíram em média 1,3 túneis ($s = 0,5$) no período de dois dias, estes túneis apresentaram diâmetro médio de 15,8 mm ($s = 0,9$) e profundidade média de 7,4 cm ($s = 1,9$). Expostos ao recurso por sete dias o número médio de túneis foi de 2,5 túneis ($s = 1,3$), estes túneis apresentaram diâmetro médio de 12,4 mm ($s = 0,5$) e profundidade média de 7,8 cm ($s = 4,4$). Assim, a quantidade [$t=1,80$; $p=0,14$] e a profundidade [$t=0,17$; $p=0,87$] dos túneis não foram influenciadas pelo período de exposição ao recurso, este período influenciou apenas o diâmetro de abertura destas construções, que foram menores no período de sete dias [$t=6,49$; $p<0,01$] (tabela 3-5).

Tabela 3 - 5. Número, diâmetro e profundidade dos túneis construídos por *Phanaeus splendidulus* de acordo com o período de exposição ao recurso. Na coluna, letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

EXPERIMENTOS		OBSERVAÇÕES								
Densidade	Período de Exposição	Número de túneis			Diâmetro (mm)			Profundidade (cm)		
		Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máxima	Mínima	Média
Casal	2 dias	1	2	1,3 ^a	17,00	14,75	15,81 ^a	9,00	5,50	7,38 ^a
	7 dias	1	4	2,5 ^a	13,00	12,00	12,38 ^b	14,00	3,60	7,79 ^a

Análise comparada da capacidade funcional dos casais expostos ao recurso por dois e sete dias e correlação entre a remoção do excremento e a dispersão secundária de sementes

Na comparação da capacidade de remoção de excremento efetuada pelos casais, o período de exposição ao recurso aumentou esta capacidade [F=46,49; p<0,01] e foram observadas diferenças significativas entre as espécies [F=20,82; p<0,01]. Neste sentido, os casais de *D. sericeus* e *P. splendidulus* foram mais eficientes que os de *C. rutilans* e *D. multicolor*, especialmente quando expostos ao recurso por sete dias (Figura 3-15). Avaliando essa mesma capacidade ponderada pela biomassa padronizada em 1 g, o período de exposição ao recurso também teve relações positivas [F=46,49; p<0,01] e novamente foram observadas diferenças significativas entre as espécies [F=20,82; p<0,01], entretanto, a capacidade de remoção de excremento apresentada por *C. rutilans* e *D. sericeus* foram similares, sendo estas espécies as mais eficientes, especialmente no período de sete dias (Figura 3-15; Figura 3-16).

Na dispersão secundária de sementes pequenas o período de exposição ao recurso novamente foi determinante na capacidade dos casais [F=14,34; p<0,01], mas não houve diferenças entre as espécies [F=1,81; p=0,17]. Nesta análise, no período de dois dias *C. rutilans* foi o menos eficiente e *D. sericeus* e *P. splendidulus*, especialmente quando expostos pelo período de sete dias, apresentaram a maior média de dispersão para este tipo de semente (Figura 3-15). Entretanto, apenas *P. splendidulus* [r=0,71; p=0,04] e *D. multicolor* [r=0,87; p<0,01] apresentaram fortes correlações positivas entre a remoção de excremento e a dispersão de sementes pequenas, em *D. sericeus* esta correlação foi moderada [r=0,54; p=0,06] e para *C. rutilans* não houve correlação entre estas funções ecológicas [r=0,06; p=0,84].

No caso das sementes grandes, tanto o período de exposição ao recurso [F=7,98; p<0,01] quanto às espécies foram determinantes na capacidade de dispersão [F=3,00; p=0,03]. Mais uma vez, *C. rutilans* foi o menos eficiente e *P. splendidulus*, especialmente quando exposto ao recurso pelo período de sete dias, foi à espécie de maior capacidade na dispersão de sementes grandes (Figura 3-15). Entretanto, apenas *D. multicolor* apresentou correlação positiva entre esta função e a remoção de excremento [r=0,79; p=0,01] ao passo que *C. rutilans* [r=0,67; p=0,06] e *P. splendidulus* [r=0,68; p=0,06] apresentaram correlação moderada; para *D.*

sericeus não houve correlação entre estas funções ecológicas [$r=0,35$; $p=0,26$].

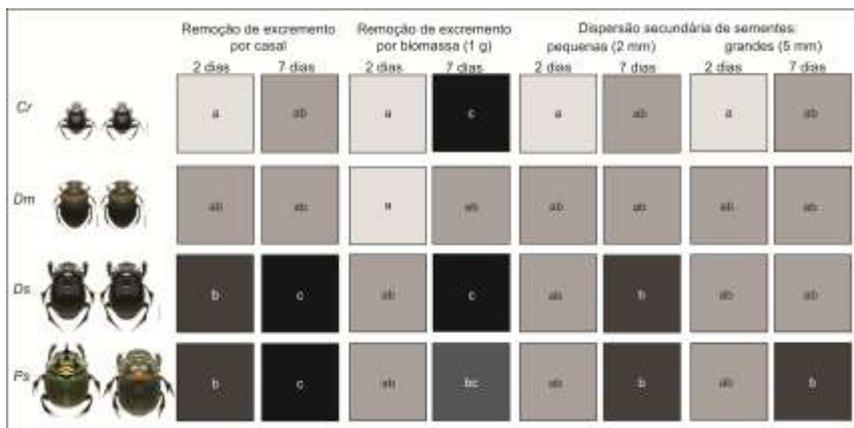


Figura 3 - 15. Resultado da análise comparativa da capacidade funcional entre os casais das espécies *Canthon rutilans cyanescens* (Cr), *Deltochilum multicolor* (Dm), *Dichotomius sericeus* (Ds) e *Phanaeus splendidulus* (Ps). Letras e cores diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

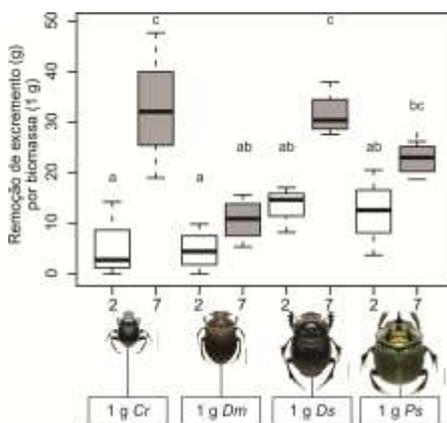


Figura 3 - 16. Resultado da análise comparativa da capacidade funcional de remoção de excremento por biomassa padronizada em 1 g das espécies *Canthon rutilans cyanescens* (Cr), *Deltochilum multicolor* (Dm), *Dichotomius sericeus* (Ds) e *Phanaeus splendidulus* (Ps). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos (teste de Tukey).

Discussão

Nossos resultados constituem o primeiro registro descritivo das capacidades funcionais de remoção e alocação de excremento, dispersão secundária de sementes pequenas e grandes das espécies *Canthon rutilans cyanescens* (Harold 1868), *Deltochilum multicolor* Balthasar 1939, *Dichotomius sericeus* (Harold 1867) e *Phanaeus splendidulus* (Fabricius 1781). A capacidade de remoção aumentou com o período de exposição ao recurso e com a densidade de indivíduos, com exceção de *D. multicolor*. Apesar da influência do período de exposição ao recurso depender também de outros fatores, como preferência alimentar dos besouros (Amézquita e Favila 2010), de maneira geral, nas comunidades de escarabeíneos, este fator aumenta a quantidade de material removido (Horgan 1989, Amézquita e Favila 2011). O período de exposição ao recurso também pode ter implicações positivas na função de remoção das espécies, pois em análises comparativas permite a avaliação do desempenho funcional após a manipulação, corte e combate, comportamentos complexos apresentados durante a aquisição do recurso, como em espécies do gênero *Canthon* (Favila 1988, Chamorro-Florescano e Favila 2008).

A densidade de indivíduos promove maior biomassa total que é uma característica importante na execução das funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar dos escarabeíneos, principalmente a remoção (Dangles et al. 2012). Como em nossas predições, as duas espécies paracopríneas e de tamanho corporal maior, *D. sericeus* e *P. splendidulus*, foram as mais eficientes em todas as funções, e no caso da remoção, este desempenho também pode refletir a cooperação entre os pares apresentada por esta guilda, conforme reportado para *Onthophagus vacca* (Sowing 1996). A guilda funcional dos paracopríneos (Slade et al. 2007), assim como a biomassa corporal (Nervo et al. 2014), são características intrínsecas das espécies que implicam maior desempenho nas abordagens experimentais. Neste sentido, telecopríneos diurnos removem menos que paracopríneos noturnos (Slade et al. 2007), assim como besouros menores removem menos que os besouros maiores (Dangles et al. 2012, Nervo et al. 2014) pois a capacidade de obtenção de recurso está diretamente associada ao tamanho ou massa corporal do organismo (Andresen 2003, Anduaga 2004, Nervo et al. 2014). Porém, ao estimar a remoção pela biomassa padronizada, espécies que nas abordagens de grupos funcionais (Slade et al. 2007) ou que devido a sua biomassa corporal (Nervo et al. 2014) são consideradas pouco eficientes, como *C. rutilans*,

apresentaram melhor desempenho funcional. Essa relação com a biomassa já foi reportada em estudos de comunidade, ou seja, em termos de biomassa total, quando besouros menores e menos eficientes estão em condições de biomassa similares a de espécies maiores, sua capacidade funcional de remoção pode ser equivalente ou superior (Dangles et al. 2012). Assim, a contribuição destes besouros menores para as funções ecológicas não pode ser subestimada, ainda que eles sejam reportados como menos eficientes em outras abordagens (Slade et al. 2007, Nervo et al. 2014).

Como o período de exposição ao recurso e a densidade podem atuar de maneira diferenciada sobre cada espécie, a caracterização da capacidade funcional dos escarabeíneos pode melhorar a compreensão do funcionamento do mecanismo de compensação em abundância e biomassa, que tem como premissa assegurar as taxas de remoção frente à redução da riqueza de espécies, conforme observado em alguns estudos envolvendo as comunidades (e.g. Amézquita e Favila 2010, 2011). A descrição da capacidade funcional das espécies de escarabeíneos, com destaque para as implicações de fatores extrínsecos, é um importante passo no entendimento da atuação destes besouros, uma vez que, pequenas variações na densidade das espécies geram diferenças consideráveis em sua capacidade funcional. Essas diferenças, relacionados à densidade, implicam em benefícios relacionados ao desempenho funcional das espécies, como observado para *Scarabaeus sacer* na incorporação de nutrientes no solo e nas plantas (Hanafy 2012) e para *Dichotomius anaglypticus* e *Ontophagus gazella* (Galbiati et al. 1995). No entanto, devido às atividades dos paracoprídeos serem mais facilmente visualizadas, a descrição funcional detalhada desta guilda tem sido mais frequente (Lindquist 1933, Galbiati et al. 1995, Sowing 1996, Anduaga e Huerta 2007, Hanafy 2012, Nervo et al. 2014). Em comparação com estudos em outras espécies, nossos dados obtidos sobre a alocação realizada por *D. sericeus* e *P. splendidulus* mostram baixa variabilidade e a quantidade de material alocado, bem como o diâmetro de abertura e a profundidade dos túneis, foram similares aos de *Corpris fricator* (Lindquist 1933) e *O. vacca* (Sowing 1996), espécies de tamanho corporal similares. Em nosso estudo também ocorreu consumo do recurso alocado nos túneis demonstrado pela menor quantidade relativa de material encontrado no interior destas galerias com o passar do tempo. Esse consumo também foi reportado em outros estudos envolvendo a descrição da capacidade dos paracoprídeos (Sowing 1996).

Os escarabeíneos são importantes dispersores de sementes, esta característica pode ser decisiva no sucesso de estabelecimento de algumas

mudas (Andresen 2001, 2003). Como em nossos resultados, espécies do gênero *Canthon* e *Deltochilum* são classificadas como menos eficientes na dispersão em relação às espécies do gênero *Dichotomius* e *Phanaeus* (Vulinec 2002). Esta relação também foi reportada nas abordagens funcionais, sendo que a dispersão de sementes maiores só ocorre na presença de paracoprídeos, principalmente os noturnos (Vulinec 2002, Slade et al. 2007). Em nosso estudo a capacidade de dispersão de sementes pequenas de *D. sericeus* não aumentou nem com a densidade nem com o tempo, assim como estes fatores também não influenciaram a capacidade de *P. splendidulus*, isso ocorreu devido a estas espécies terem sido boas dispersoras já nos primeiros dias, mesmo quando estavam na densidade de um casal. Além disso, estas duas espécies foram as que efetivamente alocaram as sementes de ambos os tamanhos para o interior dos túneis, o que implica no principal benefício associado a esta função que é a proteção contra predadores de sementes e a promoção de condições favoráveis para a germinação (Andresen 2001, Vulinec 2002, Andresen 2003).

A maior capacidade de dispersão e a alocação de quase todas as sementes dispersadas, que foi observado para os paracoprídeos, também podem estar relacionadas ao fato desta guilda não manipular o excremento, como ocorre entre os telecoprídeos, que ao confeccionarem as bolas de alimento ou nidificação, podem realizar certa seleção e limpeza do recurso. No caso da profundidade de enterrio do excremento e de sementes efetuada por *D. sericeus*, a densidade aumentou esta capacidade para as sementes pequenas e o tempo para as sementes grandes, assim como o tempo aumentou a profundidade de enterrio apresentada por *P. splendidulus* nesta função. Sendo assim, a proteção das sementes seria assegurada de imediato com a dispersão vertical, que é elevada para mesmo para os casais e nos primeiros dias de exposição ao recurso, ao passo que o sucesso de germinação dessas sementes dependeria do tempo, pois a profundidade foi influenciada por este fator. Nossos resultados também indicaram que não houve correlação entre a remoção e a dispersão de sementes efetuada pelos casais de *C. rutilans*, que apresentaram baixa capacidade para esta função, de forma similar a outras espécies deste gênero (Vulinec 2002) e grupo funcional (Slade et al. 2007). Ainda que pequenos besouros possam exibir a mesma capacidade dos besouros maiores para remoção quando estão em maior abundância e condições similares de biomassa total, algumas funções associadas não seguem este padrão, como a função de revolvimento do solo e de dispersão de sementes (Braga et al. 2013). Também não evidenciamos correlação forte para *D. sericeus*, neste caso específico foi devido à elevada

capacidade de remoção e dispersão exibida por esta espécie, como observado em outras espécies deste gênero (Vulinec 2002) e grupo funcional (Slade et al. 2007).

Com nossos resultados contribuimos com o conhecimento do comportamento e da capacidade funcional dessas quatro espécies de escarabeíneos e concluímos que elas desempenham funções ecológicas que podem ser valoradas e entendidas como serviços ecossistêmicos, especificamente na categoria de regulação (De Groot 2002) ou suporte (MEA 2005), pois estão diretamente associadas ao ciclo dos nutrientes e decomposição da matéria orgânica. A relevância destas espécies aumenta por estarem em um ambiente sem interesse econômico direto, mas de contribuição expressiva na manutenção da biodiversidade e desses serviços ecossistêmicos. Demonstramos que a capacidade funcional exibida pelas espécies está susceptível a fatores extrínsecos como o tempo de exposição ao recurso e a densidade de indivíduos, além dos fatores intrínsecos como os comportamentais e morfológicos. Além disso, a condução das análises realizadas, por indivíduo ou por biomassa, poderá trazer implicações na classificação das espécies de acordo com a sua capacidade funcional. Sendo assim, esta singularidade e a complementariedade exibida pelas espécies de escarabeíneos (Slade et al. 2007), além do valor intrínseco da diversidade, são importantes ferramentas para abordagens funcionais na conservação da diversidade e dos ecossistemas.

Agradecimentos

Agradecemos as contribuições do Dr. Pedro G. da Silva e Msc. Renata C. Campos para o desenvolvimento do trabalho e ao Dr. Rodrigo F. Braga pelas sugestões ao manuscrito. Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo financiamento do projeto “*Dinâmica populacional e ecologia comportamental de besouros decompositores da subfamília Scarabaeinae: importância no funcionamento do ecossistema em fragmentos de Mata Atlântica*” (Processo 479203/2010-5) e pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa ao segundo autor no projeto “*Comportamento de besouros Scarabaeinae e sua função no ciclo de decomposição de matéria orgânica*” (Processo 303800/2010-0).

Referências bibliográficas

- Amézquita, S., and M. E. Favila. 2010.** Removal rates of native and exotic dung by dung beetles (Scarabaeidae: Scarabaeinae) in a fragmented tropical rain forest. *Environ. Entomol.* 39:328–36. doi: 10.1603/EN09182.
- Amézquita, S., and M. E. Favila. 2011.** Carrion removal rates and diel activity of necrophagous beetles. *Environ. Entomol.* 40(2): 239-246. doi: 10.1603/EN10203.
- Andresen, E. 2003.** Effect of forest fragmentation on dung beetle communities and functional consequences for plant regeneration. *Ecography* 26: 87-97.
- Anduaga, S. 2004.** Impact of the activity of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) inhabiting pasture land in Durango, Mexico. *Environ. Entomol.* 33: 1307-1312.
- Anduaga, S., and C. Huerta. 2007.** Importance of Dung Incorporation Activity by Three Species of Coprophagous Beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) Macrofauna in Pastureland on “La Michila” Biosphere Reserve in Durango, Mexico. *Environ. Entomol.* 36(3): 555-559.
- Braga, R. F., V. Korasak, E. Andresen and J. Louzada. 2013.** Dung beetle community and functions along a habitat-disturbance gradient in the Amazon: a rapid assessment of ecological functions associated to biodiversity. *PLoS One* 8: e57786. doi: 10.1371/journal.pone.0057786.
- Braga, R. F., V. Korasaki, L. D. Audino and J. Louzada. 2012.** Are dung beetles driving dung-fly abundance in traditional agricultural areas in the Amazon? *Ecosystems* 15: 1173-1181. doi: 10.1007/s10021-012-9576-5.
- Campos, R. C., and M. I. M. Hernández. 2014.** Changes in the dynamics of functional groups in communities of dung beetles in Atlantic forest fragments adjacent to transgenic maize crops. *Ecol. Indic.* 49 (2014) 216–227.
- Crawley, M. J. 2007.** *The R book.* John Wiley & Sons Ltd., London, UK.
- Dangles, O., C. Carpio, and G. Woodward. 2012.** Size-dependent species removal impairs ecosystem functioning in a large-scale tropical field experiment. *Ecology* 93(12), 2012, p 2615–2625.

- De Groot, R. S., M. A. Wilson, and R. M. J. Boumans. 2002.** A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41: 393-408.
- Galbati, C., C. Bensi, C. H. C. Conceição, J. L. Florcovski, and M. H. Calafiori. 1995.** Estudo comparativo entre besouros do esterco, *Dichotomius anaglypticus* (Mann., 1929) e *Onthophagus gazela* (F.), sobre as pastagens, em condições brasileiras. *Ecossistema*, 20(3): 109-118.
- Gollan, J. R., L. L. Bruynb, N. Reidb, and L. Wilkiea. 2013.** Monitoring the ecosystem service provided by dung beetles offers benefits over commonly used biodiversity metrics and a traditional trapping method. *J. Nat. Conserv.* 21: 183-188.
- Halffter, G., and E. G. Matthews. 1966.** The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). *Fol. Entomol. Mex.* 12(14): 1-312.
- Halffter, G., and W. D. Edmonds. 1982.** The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): an ecologic and evolutive approach. *Man and Biosphere Program Unesco, Mexico City, MEX.*
- Hanafy, H. E. M. 2012.** Effect of dung beetles, *Scarabaeus sacer* (Scarabaeidae: Scarabaeinae) on certain biochemical contents of leaves and fruits of tomato and squash plants. *J. Appl. Sci. Res.* 8(10): 4927-4936.
- Hanski, I., and Y. Cambefort. 1991.** *Dung beetle ecology.* Princeton University Press, Princeton, USA.
- Harrell Jr, F. E., and C. Dupont. 2014.** Hmisc: harrell miscellaneous. R package version 3.14-5. <http://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>.
- Horgan, F. G. 2001.** Burial of bovine dung by coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from horse and cow grazing sites in El Salvador. *Eur. J. Soil Biol.* 37:103–111.
- Horgan, F. G. 2005.** Aggregated distribution of resources creates competition refuges for rainforest dung beetles. *Ecography* 28: 603-618.
- Horgan, F. G. 2008.** Dung beetle assemblages in forests and pastures of El Salvador: a functional comparison. *Biodivers. Conserv.* 17: 2961-2978.
- Klein, B. C. 1989.** Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. *Ecology* 70:1715–1725.

- Kudavidanage, E. P., L. Qie, and J. S. H. Lee. 2012.** Linking biodiversity and ecosystem functioning of dung beetles in south and southeast asian tropical rainforests. *Raff. Bull. Zool.* 25: 141–154.
- Lindquist, A. W. 1933.** Amounts of dung buried and soil excavated by certain corpini (Scarabaeidae). *Kansas Entomol. Society* 6(4): 109-125.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005.** Ecosystems and human well-being. Island Press, Washington, USA.
- Nervo, B., C. Tocco, E. Caprio, C. Palestini, and A. Rolando. 2014.** The effects of body mass on dung removal efficiency in dung beetles. *PLoS One* 9: e107699. doi:10.1371/journal.pone.0107699.
- Nichols, E. 2013.** Fear begets function in the ‘brown’ world of detrital food webs. *J Anim Ecol* 82(4): 717-720.
- Nichols, E., S. Spector, J. Louzada, S. Amézquita, and M. E. Favila. 2008.** Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.* 141:1461–1474. doi: 10.1016/j.biocon.2008.04.011.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens, and H. Wagner. 2013.** *vegan: Community Ecology Package.* R package version 2.0-10. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- R Core Team. 2014.** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AUT. URL <http://www.R-project.org/>.
- Santos, G. F., J. T. N. Silva, M. Mendonça, and R. W. Veado. 1989.** Análise Ambiental da Lagoa do Peri. *Geosul*, 8, 101-123.
- Scholtz, C. H., A.L.V. Davis, and U. Kryger. 2009.** Evolutionary biology and conservation of dung beetles. Pensoft Publishers, Sofia, BGR.
- Silva, P. G., and M. I. M. Hernández. 2014.** Local and regional effects on community structure of dung beetles in a mainland-island scenario. *PLoS ONE* 9(10): e111883. doi:10.1371/journal.pone.0111883
- Silva, P.G., and R. A. Di Mare. 2012.** Escarabeíneos copro-necrófagos (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae) de fragmentos de Mata Atlântica em Silveira Martins, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 102(2):197-205.
- Slade E. M., D. J. Mann, J. F. Villanueva, and O. T. Lewis. 2007.** Experimental evidence for the effects of dung beetle functional

group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. *J. Anim. Ecol.* 76:1094–104.

Sowing, P. 1996. Duration and benefits of biparental brood care in the dung beetle *Onthophagus vacca* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Ecol. Entomol.* 21: 81-86.

Venables, W. N., and B. D. Ripley. 2002. Modern applied statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York, USA.

Vulinec, K. 2002. Dung beetle communities and seed dispersal in primary forest and disturbed land in Amazonia. *Biotropica* 34: 297–309.

Wardle, D. A. and R. D. Bardgett. 2004. Human-induced changes in large herbivorous mammal density: the consequences for decomposers subsystem. *Front Ecol Environ* 2(3): 145-153.

CONCLUSÕES GERAIS

Este trabalho contribui com o conhecimento das funções ecossistêmicas nas quais os besouros escarabeíneos participam, especificamente, na função de suporte e regulação, ao consumirem e distribuírem no solo matéria orgânica em decomposição. Assim, inicialmente foi desenvolvido uma técnica de coloração de excrementos com corante do tipo comestível, líquido e inodoro, o qual pode ser adotado por não interferir na atratividade dos insetos e na manipulação por parte dos escarabeíneos. Este método facilita a visualização, por parte do pesquisador, do material enterrado em galerias no solo pelos paracoprídeos. Devido à segurança em relação à disseminação de patógenos em áreas naturais e pela viabilidade logística, o excremento de cachorro doméstico criado em biotério pode ser uma alternativa viável na padronização de estudos funcionais envolvendo escarabeíneos.

Posteriormente, em estudos de campo em áreas de Mata Atlântica, com diferenças no grau de perturbação ambiental, foi medida a capacidade de remoção de carcaça suína e excremento de cachorro doméstico que estes organismos possuem e foi observado que em 48 horas, quase a totalidade do excremento e mais da metade da carcaça oferecida é consumida ou removida por toda a comunidade. Foi demonstrado que os escarabeíneos necrófagos (aqueles que se alimentam de carcaça) são mais sensíveis à diminuição da qualidade ambiental, pois apresentaram dominância de somente duas espécies na área mais perturbada e esta diferença estrutural da comunidade refletiu na menor capacidade de remoção de carcaça. Entre os escarabeíneos coprófagos (que se alimentam de fezes), a abundância e a biomassa dos telecoprídeos (aqueles que fazem bolas de alimento e as carregam na superfície do solo antes de enterrá-las) foram os atributos ecológicos das guildas funcionais que determinaram a capacidade de remoção de excremento efetuada por estas comunidades.

Finalmente foram descritas as capacidades funcionais, tanto de remoção quanto da capacidade de dispersão de sementes, de quatro espécies de escarabeíneos, escolhidas for serem abundantes ou comuns na Mata Atlântica do sul do Brasil. Foi observado que o período de exposição ao recurso aumenta a capacidade de remoção de excremento e o número de bolas de alimentação feitas por *Canthon rutilans cyanescens*; aumenta a capacidade de remoção de excremento e a profundidade de enterrio das sementes pequenas dispersas por *Phanaeus splendidulus*, e; aumenta a capacidade de remoção e a alocação do excremento no interior dos solos, a

dispersão e a profundidade de enterrio das sementes grandes dispersas por *Dichotomius sericeus*. O período de exposição ao recurso não influenciou nenhuma das funções ecológicas de *Deltachilum multicolor*. O papel da densidade de indivíduos foi investigado em duas destas espécies, e este fator aumenta a remoção de excremento, número, diâmetro e peso das bolas de alimentação feitas por *C. rutilans*; aumenta a capacidade de remoção e alocação de excremento, profundidade de enterrio das sementes pequenas e número de túneis feitos por *D. sericeus*. Os paracoprídeos (*D. sericeus* e *P. splendidulus*, que enterram os recursos alimentares em galerias no solo) foram os mais eficientes na execução das funções ecológicas que os telecoprídeos (*C. rutilans* e *D. multicolor*, que fazem bolas de alimentação ou nidificação com o recurso para posteriormente enterrá-los).

Estes dados sobre os fatores que influenciam na execução das funções ecológicas realizadas pelos escarabeíneos, observando desde a comunidade como um todo, posteriormente as guildas funcionais e finalmente as espécies, valorizam os serviços prestados por estes insetos em ambientes naturais e vem resgatar a importância da conservação das espécies, visando um enfoque funcional.

ANEXO I

Lista de espécies de escarabeíneos atraídas por excremento não corado e por excremento corado na Unidade de Conservação Ambiental Desterro, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

ESPÉCIES	TRATAMENTO	
	Excremento não corado	Excremento corado
<i>Canthidium</i> aff. <i>trinodosum</i> (Boheman, 1858)	2	0
<i>Canthon rutilans cyanescens</i> (Harold, 1868)	53	96
<i>Coprophanæus saphirinus</i> (Sturm, 1826)	12	11
<i>Deltochilum brasiliense</i> (Laporte, 1840)	3	2
<i>Deltochilum morbillosum</i> Burmeister, 1848	1	1
<i>Deltochilum multicolor</i> Balthasar, 1939	0	1
<i>Deltochilum rubripenne</i> (Gory, 1831)	1	5
<i>Dichotomius</i> aff. <i>pygidialis</i> (Luederwaldt, 1922)	2	0
<i>Dichotomius fissus</i> (Harold, 1867)	3	0
<i>Dichotomius sericeus</i> (Harold, 1867)	20	26
<i>Phanaeus splendidulus</i> (Fabricius, 1781)	3	0
RIQUEZA	10	7
ABUNDÂNCIA	100	142

ANEXO II

Lista de espécies de árvores (DAP > 5 cm) em duas áreas de Mata Atlântica com diferenças no grau de perturbação ambiental, inseridas no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil em agosto de 2014. N: abundância da espécie por área; IVI: Índice de valor de importância por área; A-P: área menos perturbada; A+P: área mais perturbada. Espécies identificadas por *Cassio Daltrini Neto*.

ESPÉCIE	Nome popular	N		IVI	
		A-P	A+P	A-P	A+P
<i>Guapira opposita</i>	Maria-mole	14	1	40.2	4.9
<i>Cupania vernalis</i>	Camboatá-vermelho	8	3	25.1	10.0
<i>Pera glabrata</i>	Seca-ligeiro	4	7	14.8	30.9
<i>Cedrella fissilis</i>	Cedro-rosa	4	1	16.1	5.3
<i>Matayba guianensis</i>	Camboatá-branco	4	0	15.9	
<i>Pterocarpus hohrii</i>		4	0	12.8	
<i>Machaerium stipitatum</i>	Farinha-seca	3	3	14.8	16.8
<i>Guarea macrophylla</i>	Baga-de-morcego	3	0	10.1	
<i>Casearia sylvestris</i>	Guaçatonga	2	5	12.0	18.1
<i>Tetrorchidium sp</i>		2	0	32.9	

ESPÉCIE	Nome popular	N		IVI	
		A-P	A+P	A-P	A+P
<i>Miconia cinnamomifolia</i>	Jacatirão-açu	2	0	17.9	
<i>Heisteria silvianii</i>	Casca-de-tatu	2	0	9.1	
<i>Myrsine umbellata</i>	Pororocão	2	0	8.3	
<i>Abarema langsdorffii</i>	Pau-de-gambá	2	0	7.7	
<i>Ormosia arbórea</i>		1	2	6.6	9.5
<i>Euterpe edulis</i>	Palmito-Juçara	1	1	6.1	4.5
<i>Miconia cf. rigidiuscula</i>	Pixirica	1	1	6.0	5.1
<i>Piper cernuum</i>		1	1	5.6	4.8
<i>Posoqueria latifolia</i>	Baga-de-macaco	1	0	9.8	
<i>Ansonia glandulosa</i>		1	0	8.4	
<i>Sapium glandulosum</i>	Pau-leiteiro	1	0	7.9	
<i>Myrsine coriácea</i>	Capororóca	1	0	6.3	
<i>Annona sylvatica</i>	Araticum	1	0	5.6	
<i>Syagrus romanzoffiana</i>		0	6		45.4
<i>Alchornea triplinervia</i>	Tainheiro	0	4		22.5
<i>Andira fraxinifolia</i>	Pau-angelim	0	4		16.5
<i>Solanum pseudoquina</i>		0	3		13.5
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>		0	3		13.4

ESPÉCIE	Nome popular	N		IVI	
		A-P	A+P	A-P	A+P
<i>Mollinedia cf. schottiana</i>		0	2		9.4
<i>Allophylus cf. petiolulatus</i>		0	2		8.1
<i>Roupala brasiliensis</i>		0	2		7.0
<i>Cytharexylum myrianthum</i>		0	1		10.4
<i>Zanthoxylum cf. petiolare</i>		0	1		7.8
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>		0	1		7.4
<i>Ilex theezans</i>		0	1		5.4
<i>Psidium cattleianum</i>		0	1		5.1
<i>Luehea divaricata</i>		0	1		4.8
<i>Machaerium</i> sp		0	1		4.6
sp2		0	1		4.5
sp1		0	1		4.5
RIQUEZA		23	27		
ABUNDÂNCIA		65	60		

ANEXO III

Temperatura e precipitação média (\pm desvio padrão) no período da avaliação das funções ecológicas associadas ao comportamento alimentar dos escarabeíneos conforme o tratamento. Valores obtidos a partir da estação meteorológica 1006 em Florianópolis, SC. Fonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri).

Densidade	Espécie	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
Casal	<i>Deltochilum multicolor</i>	24,6 (\pm 0,8)	3,9 (\pm 6,2)
Casal	<i>Canthon rutilans cyanescens</i>	23,6 (\pm 1,8)	4,1 (\pm 6,7)
Grupo	<i>Canthon rutilans cyanescens</i>	20,3 (\pm 1,3)	1,1 (\pm 1,6)
Casal	<i>Phanaeus splendidulus</i>	20,8 (\pm 0,9)	1,2 (\pm 1,3)
Casal	<i>Dichotomius sericeus</i>	20,9 (\pm 1,5)	1,5 (\pm 2,2)
Grupo	<i>Dichotomius sericeus</i>	20,9 (\pm 1,5)	1,5 (\pm 2,2)