

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**  
**CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA**

**KAIRES MAYANE ARAÚJO DA SILVA**

**RESPOSTA ECOLÓGICA DE BESOUROS SCARABAEINAE**  
**(COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) A DIFERENTES USOS DO SOLO**  
**NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**São Luís - MA**

**2022**

**KAIRES MAYANE ARAÚJO DA SILVA**

Bióloga

**RESPOSTA ECOLÓGICA DE BESOUIROS SCARABAEINAE  
(COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) A DIFERENTES USOS DO  
SOLO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

**Orientador:** Dr Reinaldo Lucas Cajaiba

**Coorientador:** Dr Guillaume Xavier Rousseau

**São Luís – MA  
2022**

Silva, Kaires Mayane Araújo da.

Resposta ecológica de besouros scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) a diferentes usos do solo na Amazônia oriental / Kaires Mayane Araújo da Silva. – São Luís, 2022.

52 f

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lucas Cajaiba.

1.Biodiversidade. 2.Insetos. 3.Habitats. 4.Bioindicadores. I.Título.

CDU: 595.76(811.3)

**KAIRES MAYANE ARAÚJO DA SILVA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

**Aprovada em: 24 / 02 / 2022**

**Comissão julgadora:**



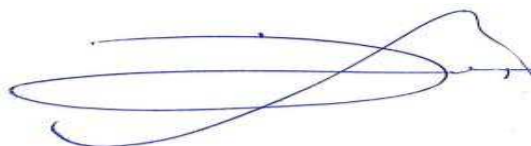
---

Prof. Dr. Reinaldo Lucas Cajaiba  
Instituto Federal do Maranhão – Campus Buriticupu  
**Orientador**



---

Prof. Dr. Francisca Helena Muniz  
Universidade Estadual do Maranhão- UEMA



---

Prof. Dr. Rogério Soares Cordeiro  
Instituto Federal Baiano – Campus Santa Inês

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a **Deus**, pela vida, pela saúde e força, por não me deixar desistir no meio do caminho diante de tantos desafios.

A **Universidade Estadual do Maranhão** pela oportunidade de realização do Curso.

A **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pelo apoio através de bolsa para realização da pesquisa.

Ao **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA/ Buriticupu)** pelo apoio de logística.

Ao meu orientador, prof<sup>o</sup>. Dr. **Reinaldo Lucas Cajaiba** pela atenção e zelo com que me conduziu e aceitou mais esta jornada do Mestrado comigo, pelos ensinamentos, pela paciência que conduz tudo, sendo um exemplo e inspiração para todos, obrigada por tudo professor.

Aos meus pais **José Hilton e Klenys Costa** e, aos meus irmãos, por todo o carinho, companheirismo, pelo amor que existe entre nós, por toda paciência que precisam ter comigo e por todo o apoio!

Aos meus amigos de pesquisa **Karoline Lopes e Francisco Maciel** pelo companheirismo e apoio dados durante todo ano nas coletas, também pela convivência alegre do dia-a-dia. Vocês tornaram a jornada mais suave. Obrigada por tudo.

Aos **Drs.** que colaboraram de alguma forma para composição deste trabalho, **Guillaume Rousseau e Rogério Soares Cordeiro.**

À **Rayane Cristine** pela atenção e apoio oferecidos durante todo o Curso de Mestrado.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram nesta etapa.

**Muito obrigada!**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Biodiversidade da fauna do solo.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Efeitos do uso do solo sobre a biodiversidade .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Bioindicadores.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1 Insetos bioindicadores .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2 Família Scarabaeidae .....</b>	<b>17</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Área de estudo.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Desenho experimental .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Variáveis ambientais .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Identificação, Banco de Dados e Depósito .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5 Análises Estatísticas.....</b>	<b>25</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Análises de Riqueza, Abundância e Composição .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Efeitos de variáveis ambientais nas assembleias de Scarabaeinae.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3 Atratividade de besouros Scarabaeinae a diferentes tipos de iscas .....</b>	<b>30</b>
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5.1 Análises de Riqueza, Abundância e Composição .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2 Efeitos de variáveis ambientais sobre a subfamília Scarabaeinae .....</b>	<b>33</b>
<b>5.3 Atratividade de besouros Scarabaeinae a diferentes tipos de iscas .....</b>	<b>35</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Localização do estado do Maranhão (A) Brasil; Localização geográfica do município de Buriticupu (B), Maranhão; Imagem de satélite mostrando a localização dos pontos de coleta nas áreas amostradas (C)..... 22
- Figura 2.** Armadilha *pitfall* instalada com isca e prato descartável invertido instalado em cima da armadilha..... 23
- Figura 3.** Esquema de distribuição dos conjuntos de armadilhas *pitfall* em cada habitat amostrado. As figuras representam as armadilhas: não-iscadas (Triângulo), com frutas (Círculo), fezes (Quadrado) e carne (Estrela)..... 24
- Figura 4.** Curvas de rarefação de base individual de Scarabaeidae. GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (vegetação com sete anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem. .... 26
- Figura 5.** (A) Número de indivíduos (abundância) e (B) Número de espécies (riqueza) da comunidade de Scarabaeinae nos diferentes habitats considerados. Os valores seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes. GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (com sete anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem..... 28
- Figura 6.** Análise de Redundância (RDA) usada para estimar a influência das variáveis ambientais sobre a comunidade de besouros (Scarabaeinae). GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (com 7 anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem. Umidade (H), diâmetro à altura do peito (DAP), cobertura do dossel (CD), número de plantas (NP), altura da serapilheira (AS), número de espécies de plantas (NEP); temperatura (T) e porcentagem de solo exposto (PSE)..... 30
- Figura 7.** Análise dos diferentes tipos de iscas observados em todos s ambientes para abundância (A) e riqueza (B). Fezes (FE); Carne (CA); Banana (BA); Controle (CO)..... 31

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Abundância e riqueza de espécies coletadas em GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária; EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem.....27

**Tabela 2.** Espécies coletadas exclusivamente em GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (com sete anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, pastagem..... 29

**Tabela 3.** Análise de Variância Permutacional Multivariada (PERMANOVA) mostrando diferenças significativas na composição de Scarabaeinae entre os ambientes. Os valores em cinza correspondem a *p*-value. GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (com sete anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem..... 29



## RESUMO

Poucos estudos relacionam os efeitos da substituição de florestas nativas por outros ecossistemas antropogênicos, como pastagens, agricultura, corte seletivo de madeira, fragmentação e silviculturas, na composição de comunidades de Scarabaeinae na Amazônia. Diante disso, é fundamental compreender a resposta de indicadores ecológicos para avaliar as mudanças em curso. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as respostas ecológicas das comunidades de Scarabaeinae, à modificação de usos do solo na Amazônia Oriental. Para isso, foram desenvolvidas coletas em vegetação preservada, vegetação secundária, plantações de eucaliptos e pastagens. A técnica de coleta foi armadilhas do tipo pitfalls, iscadas com fezes humanas, melão de banana, carne em estágio de putrefação e armadilhas não iscadas que serviram como controle. As seguintes hipóteses foram levantadas: há perda de diversidade de Scarabaeinae com mudanças de uso do solo (plantações de eucalipto, pastagem e vegetação secundária em comparação com áreas de vegetação primária) e; que florestas preservadas mantêm espécies exclusivas quando comparadas com os ambientes degradados. Os resultados demonstraram que a abundância e riqueza de espécies variaram significativamente entre os diferentes ambientes, nomeadamente, entre os ambientes mais preservados comparados aos degradados. Foi identificado também que a composição foi diferente entre os ambientes, com uma separação clara entre os diferentes ambientes pela ordenação da composição de espécies, com uma pequena sobreposição entre vegetação mais preservada e vegetação secundária. A maior abundância e riqueza de besouros foi observada na armadilha de queda com isca de fezes. Os resultados fornecem evidências que ambientes estruturalmente mais complexos, abrigam uma maior abundância, riqueza e composição de Scarabaeinae.

**Palavras-chave:** Biodiversidade; Insetos; Habitats; Bioindicadores.

## ABSTRACT

Few studies relate the effects of replacing native forests with other anthropogenic ecosystems, such as pastures, agriculture, selective logging, fragmentation and forestry, on the composition of Scarabaeinae communities in the Amazon. Given this, it is essential to understand the response of ecological indicators to assess the changes in progress. Thus, the objective of this research was to evaluate the ecological responses of Scarabaeinae communities to land use modification in the Eastern Amazon. For this, collections were carried out in preserved vegetation, secondary vegetation, eucalyptus plantations and pastures. The collection technique was pitfall traps, baited with human feces, banana molasses, putrefying meat and unbaited traps that served as controls. The following hypotheses were raised: there is a loss of Scarabaeinae diversity with changes in land use (eucalyptus plantations, pasture and secondary vegetation compared to areas of primary vegetation) and; that preserved forests maintain unique species when compared to degraded environments. The results showed that the abundance and richness of species varied significantly between the different environments, namely, between the most preserved environments compared to the degraded ones. It was also identified that the composition was different between the environments, with a clear separation between the different environments by ordering the species composition, with a small overlap between more preserved vegetation and secondary vegetation. The greatest abundance and richness of beetles was observed in the pitfall trap with feces bait. The results provide evidence that structurally more complex environments harbor greater abundance, richness and composition of Scarabaeinae.

**Keywords:** Biodiversity; Insects; Habitats; Bioindicator.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à sua diversidade, complexidade e extensão, as florestas neotropicais têm uma enorme contribuição nos processos ecossistêmicos locais, regionais e globais (FOLEY et al., 2007; KIM et al., 2015). Essas florestas são fundamentais para a regulação do clima global, sequestro e armazenamento de carbono, controle de pragas agrícolas e conservação da diversidade biológica (FOLEY et al., 2007; BERENGUER et al., 2014). Também tem um papel econômico importante, fornecendo produtos madeireiros e não-madeireiros para países e comunidades associadas (FRANÇA, 2015).

De forma geral, os sistemas ecológicos estão sendo rapidamente modificados por atividades antropogênicas associadas ao intenso crescimento populacional e mudanças no regime sócio-ecológico (GIBSON et al., 2011). As pressões humanas são consideradas “novas” perturbações com as quais os organismos nas florestas tropicais podem não estar adaptados (GEERAERT, 2014).

Em particular, na Amazônia brasileira, o desmatamento tem causado uma perda acentuada da biodiversidade e, possivelmente, uma ruptura de fenômenos climáticos globais complexos (SOLAR et al., 2016). VIEGAS et al. (2014); SOLAR et al. (2016) consideram que a conservação dos ecossistemas da Amazônia representa um desafio central para sustentar o funcionamento do planeta e, em última instância, a sobrevivência da humanidade.

O uso de espécies indicadoras para avaliar e monitorar mudanças ambientais é um método amplamente utilizado pelos pesquisadores (TIEDE et al., 2017; GHANNEM et al., 2018). Estudos mostraram que o conhecimento sobre a homogeneidade ou heterogeneidade da composição de espécies nos ecossistemas é essencial para a compreensão e monitoramento de mudanças, sejam elas resultantes de pressões naturais ou antrópicas (BARNES et al., 2016; BROSE; HILLEBRAND, 2016).

Os besouros da subfamília Scarabaeinae (Scarabaeidae), popularmente conhecidos como rola-bostas, compartilham várias características que os tornam altamente apropriados para estudos ecológicos, porque geralmente ocorrem em altas densidades, são funcionalmente diversos nas cadeias alimentares tropicais, são sensíveis à paisagem e à natureza e mudanças de habitat, e eles fornecem medições de baixo custo e fáceis se as metodologias padrão forem aplicadas (BICKNELL et al., 2014; VIEGAS et al., 2014; FILGUEIRAS et al., 2015).

Esse grupo de organismos responde rapidamente às mudanças no dossel e diversidade de vegetação, fragmentação ou isolamento de remanescentes de florestas tropicais (MAGURA et al., 2013; VIEGAS et al., 2014; CAMPOS; HERNÁNDEZ, 2015), intensidade

de luz e umidade (NICHOLS et al., 2008) determinada principalmente pela cobertura vegetal, tipo de solo (GARDNER et al., 2008) e a disponibilidade de fezes como fonte de alimento (DAVIS; PHILIPS, 2009). Além disso, são relativamente fáceis de identificar quando comparados a outros grupos de besouros ou invertebrados (GARDNER et al., 2008).

Poucos estudos relacionam os efeitos da substituição de florestas virgens por outros ecossistemas antropogênicos, como pastagens, agricultura, corte seletivo de madeiras, fragmentação e silvicultura, na composição de comunidades de Scarabaeinae na Amazônia. Para a região da Amazônia localizada no estado do Maranhão, há uma escassez de estudos ecológicos e taxonômicos utilizando os representantes desse grupo (NOVOTNY et al., 2006).

À medida que as pressões antrópicas se espalham pela Amazônia, a informação sobre a biodiversidade de grupos menos estudados, como invertebrados, é irreversivelmente perdida (HERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2018). Sendo assim, é fundamental compreender a resposta de indicadores ecológicos (como os besouros aqui estudados) para as tendências em curso (DIRZO et al., 2014).

Dessa forma, torna-se importante entender quais as exigências ecológicas das comunidades de Scarabaeinae e a tolerância desses às mudanças de usos do solo por atividades antrópicas. Isso não apenas aumentará a compreensão dos sistemas ecológicos, mas, também, permitirá previsões das consequências das ações conduzidas pelo homem sobre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as respostas das comunidades de Scarabaeinae à modificação de usos do solo na Amazônia Oriental, variando desde florestas preservadas, secundárias, lavouras de eucalipto e pastagens. As seguintes hipóteses foram exploradas (i) há perda de diversidade de Scarabaeinae com mudanças de uso do solo (nas plantações de eucalipto, pastagem e vegetação secundária em comparação com áreas de vegetação primária); e (ii) que as florestas preservadas mantêm mais espécies exclusivas quando comparadas com os ambientes degradados.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Biodiversidade da fauna do solo

Pouco se conhece das funções e relevância dos organismos do solo (MELO et al., 2009). Entretanto, no decorrer dos últimos anos, estudos estão sendo realizados com a finalidade de estabelecer melhor as funções dos organismos, sendo evidenciado que a maior diversidade biológica estabelece um equilíbrio do solo por um período de tempo maior, tornando-se um objeto de estudo de grande relevância em avaliação de qualidade ambiental e da sustentabilidade dos sistemas de produção (LAVELLE et al., 2006; BERUDE et al., 2015; CARDOSO; ANDREOTE, 2016; SANTOS et al., 2016).

Em conformidade com BARETTA et al. (2011) a fauna do solo apresenta sensibilidade a alterações que acontecem no ambiente, tanto as biológicas, físicas e químicas, como derivadas das práticas de manejo do solo e de cultivo aplicadas. De acordo com o tipo e intensidade do impacto ocasionado ao ambiente, essas práticas podem ter efeitos sobre determinadas populações, isto é, podem promover um aumento, redução ou não influenciar na diversidade dos indivíduos edáficos (BARETTA et al., 2011).

A fauna edáfica engloba muitas espécies de organismos invertebrados que apresentam uma grande variedade de tamanho, desde alguns micrômetros (microfauna) até metros de comprimento (macrofauna) (BROWN et al., 2015).

A microfauna corresponde aos animais microscópicos e abrange nematoides, rotíferos e tardígrados que estão presentes dentro da lâmina de água no solo. Apresentam ciclos de vida rápidos, e se alimentam principalmente de outros animais, raízes de vegetais (parasitas/predadores) e micro-organismos, a exemplo de bactérias, protozoários, fungos, algas, actinomicetos (LAVELLE, 1997).

A mesofauna abrange os indivíduos numericamente mais representativos como os ácaros (Acari), colêmbolos (Collembola), diplura, protura, enquiteídeos, sínfilos, pseudo-escorpiões, dentre outros animais (como micro-coleópteros, formigas e outros animais de pequeno porte que em geral são tidos como da macrofauna) que tem uma dieta alimentar sobretudo de matéria orgânica em decomposição, fungos e outros indivíduos menores (em particular nematoides e protozoários) (BROWN et al., 2015).

Uma grande diversidade de organismos compõe a macrofauna, entre seus representantes estão as minhocas, cupins, formigas, centopeias, piolhos de cobra, baratas, aranhas, tesourinhas, grilos, caracóis, escorpiões, percevejos, cigarras, tatuzinhos, traças, larvas de mosca e de mariposas, larvas e adultos de besouros (BROWN et al., 2001), além de

outros animais, que podem ser consumidores de solo (geófagos), partes vivas dos vegetais (fitófagos), matéria orgânica presente no solo (humívoros), serapilheira (detritívoros), madeira (xilófagos), raízes (rizófagos), outros animais (predadores, parasitas, necrófagos) e fungos (fungívoros), esses representantes são conhecidos como "engenheiros do ecossistema", devido as funções que desempenham (JOUQUET et al., 2006; SWIFT et al., 1979).

Existem representantes da macrofauna, especificamente os cupins, os besouros, as formigas, as milípeias e as minhocas que são denominados “engenheiros do ecossistema”. Isso está relacionado ao desenvolvimento de suas atividades que levam à criação de estruturas biogênicas (galerias, ninhos, câmaras e bolotas fecais), que alteram as propriedades físicas dos solos, como também a disponibilidade de recursos para outros organismos (BROWN et al., 2001; LAVELLE et al., 1997; TOYOTA et al., 2006).

A manutenção do equilíbrio ecológico de um determinado ecossistema depende da heterogeneidade de espécies, dos inúmeros tipos de interações e dos nichos ecológicos realizados por essas espécies que produzem um nível de estabilidade na comunidade florística e faunística (SOUZA et al., 2018). Nesse sentido, a diversidade biológica não pode ser vista somente na diversidade de organismos, mas também nas funções que esses realizam nos sistemas ecológicos, sendo que a perda desses serviços pode resultar não só na perda da produtividade, mas também na redução da sustentabilidade dos agrossistemas (GILLER, 1997).

## **2.2 Efeitos do uso do solo sobre a biodiversidade**

A Amazônia é considerada o bioma de maior diversidade biológica terrestre do planeta, abrigando uma imensa riqueza de espécies, da qual grande parte ainda não é conhecida (HOPKINS, 2007; MALHADO et al., 2013), além de suportar um conjunto de produtos e serviços ecossistêmicos que são fundamentais para o bem estar da humanidade (FOLEY et al., 2007; PEREIRA, 2010). Apesar disso, a floresta encontra-se sob constante ameaça (SOARES-FILHO et al., 2006).

Atualmente as maiores ameaças à biodiversidade são impulsionadas por fatores antrópicos, através do desmatamento, da fragmentação e a modificação de habitat (SILVA, 2015; BROOKS et al., 2002; NEWBOLD et al., 2016). O crescimento da agricultura, sobretudo das monoculturas de soja e milho (ARVOR et al. 2012; DE SOUZA et al. 2013) e da pastagem para criação de bovino de forma extensiva (SILVA, 2015), estão entre os maiores causadores de desmatamento na Floresta Amazônica, (MACEDO et al., 2012), promovendo diversos outros impactos envolvidos na degradação ecológica, como perda de

habitat, transformações bióticas e abióticas, efeito de borda e invasões biológicas, além de influenciarem diretamente na composição da fauna local (TABARELLI et al., 2004; TABARELLI; GASCON, 2005).

Um fator a ser considerado é que boa parte da área utilizada para atividades agrícolas na Amazônia Legal Brasileira é posteriormente abandonada, e recentemente um mapeamento da dinâmica do uso e cobertura da terra mostrou que as florestas secundárias na região passaram de 100.674 km<sup>2</sup> em 2004, para 173.387 km<sup>2</sup> em 2014 (INPE; EMBRAPA, 2016).

As florestas secundárias possuem enorme potencial para a conservação da diversidade biológica tropical em áreas com interferências antrópicas (WRIGHT; MULLER-LANDAU, 2006). Vem sendo realizado um grande debate a respeito de considerar as florestas secundárias como uma alternativa para diminuir as extinções em massa de espécies correlacionadas a perdas de florestas primárias (BROOK et al., 2006, CHAZDON et al., 2009). Uma pesquisa realizada recentemente demonstrou uma grande resiliência das florestas secundárias na Amazônia Oriental, que exibiram taxas de recuperação de riqueza e composição de espécies de até 85% e 88%, respectivamente, no que se refere às florestas primárias, depois de 40 anos de regeneração (LENNOX et al., 2018).

O manejo do solo e modificações na utilização da terra, como a urbanização e a conversão de florestas tropicais em lavouras para a agricultura itinerante ou pastos para criação de bovinos, acarretam em sérios impactos sobre a diversidade biológica, tanto acima quanto abaixo do solo, apesar das alterações na biota edáfica ocorrerem de forma mais lenta e serem de mais difícil detecção (SUSILO et al., 2004). No entanto, como inúmeros organismos edáficos possuem elevado endemismo e dispersão limitada, a recolonização da biota edáfica pode ocorrer também de forma mais lenta, dificultando o processo de recomposição da mesma (BROWN et al., 2015).

A abundância e a diversidade da meso e macrofauna do solo dos ecossistemas naturais e dos sistemas agroecológicos pode ser afetada por diversos fatores edáficos (tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, matéria orgânica, umidade, textura e estrutura), vegetais (tipo de vegetação e cobertura), históricos do uso da terra (principalmente antrópica, mas também geológica), topográficos (posição fisiográfica, inclinação) e climáticos (precipitação pluviométrica, temperatura, vento e umidade relativa do ar) (BROWN et al., 2015). Sendo assim, interferências antrópicas que afetam esses fatores, tanto em sistemas naturais quanto em agrícolas, podem prejudicar a dinâmica das comunidades edáficas e, por

consequente, as funções ecológicas nas quais possuem envolvimento (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010).

### **2.3 Bioindicadores**

A avaliação dos impactos ambientais resultantes de ações antrópicas nos sistemas ecológicos pode ser realizada mediante a análise dos indivíduos presentes neste, empregados como indicadores (SILVEIRA et al., 1995; THOMAZINI; THOMAZINI, 2000). A alteração da abundância, diversidade e composição do grupo de indicadores mensura o distúrbio ambiental (BROWN, 1997). Dessa maneira, indicadores ambientais precisam ser organismos que apresentam sensibilidade às modificações na estrutura de um ecossistema, podendo caracterizar inclusive a qualidade da cobertura do solo (MALUCHE et al., 2003; LIMA et al., 2003).

Indicadores biológicos são organismos que apresentam facilidade de amostragem e dispõe da capacidade de responder de forma positiva ou negativa aos impactos ambientais (HOLT; MILLER, 2010), esses devem possuir uma resposta já conhecida às mudanças no ambiente, além de responder de maneira clara ao distúrbio (WINK et al., 2005). Desse modo, devem informar sobre a estrutura, ser capaz de refletir o funcionamento e a composição do ecossistema, ter distribuição universal e seu monitoramento deve ser economicamente viável, devendo ser monitorados em distúrbios ambientais a curto e longo prazo (DALE; BEYELER, 2001).

Para a escolha de um organismo bioindicador deve-se conhecer alguns aspectos fundamentais das espécies, como por exemplo: taxonomia, ciclo de vida e biologia. Entretanto, também é muito relevante que os mesmos sejam de fácil observação e coleta, apresentem ampla distribuição geográfica em diversos tipos de habitats e serem sensíveis às alterações ambientais (BROWN, 1997; THOMAZINI; THOMAZINI, 2000).

Cada indicador biológico pode pertencer a escalas distintas de incidência de perturbações, ou seja, responder de formas diferentes de acordo com a ocorrência de mudanças no ambiente, evidenciando informações a respeito de um determinado distúrbio (BUCHS, 2003). Estes indicadores biológicos são espécies que podem ter uma amplitude estreita a respeito de um ou mais fatores ecológicos, e quando habitam determinado ambiente podem sugerir uma condição ambiental particular ou estabelecida (WINK et al., 2005).



### **2.3.1 Insetos bioindicadores**

Dentre os organismos bioindicadores, os insetos são considerados de grande relevância na ecologia dos ecossistemas naturais, apresentando grande potencial para serem utilizados em estudos de perturbação ambiental (WINK et al., 2005). Além do mais, são excelentes para avaliação de impactos ocasionados pela formação de fragmentos florestais, uma vez que são altamente influenciados pela heterogeneidade do habitat (THOMANZINI; THOMAMZINI, 2000).

Entre os insetos com potencial para serem utilizados em programas de monitoramento ambiental, as espécies que se destacam são pertencentes às ordens Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera e Orthoptera (BROWN, 1997). Esses organismos se sobressaem por desempenharem papel importante no ecossistema, por exemplo: a ciclagem de nutrientes, na decomposição de matéria orgânica (MORAES; FRANKLIN, 2008), na produtividade secundária (BROWN et al., 2001a; LAVELLE et al., 1997; TOYOTA et al., 2006), atuando como polinizadores, no fluxo de energia, na predação, na dispersão de sementes (PRICE, 1984), além de regular populações de espécies vegetais e de outros indivíduos (OLIVEIRA et al., 2014).

A fauna de solo e de serapilheira, por exemplo, apresenta elevada diversidade e acelerada capacidade de se reproduzir e suas propriedades ou funções são capazes de indicar e determinar a qualidade ou o nível de degradação do ambiente em questão (WINK et al., 2005). Tais fatores podem ser analisados pela presença de organismos específicos ou análise da comunidade e processos biológicos como, a alteração da estrutura edáfica e níveis de decomposição. Sendo assim, estes indivíduos são imprescindíveis, pois aumentam os níveis de decomposição da serapilheira e agilizam os níveis de ciclagem de nutrientes indicando qualidade do solo (KNOEPP et al., 2000).

Conforme Kimberling et al. (2001) a simplificação ambiental faz com que os organismos edáficos sofram diminuições populacionais, uma vez que a dissemelhança estrutural dos recursos provoca interrupção no seu ciclo de vida, pela modificação da qualidade do ambiente e dos micro-habitats suportados pela paisagem.

### **2.3.2 Família Scarabaeidae**

Scarabaeidae é a maior família de Scarabaeoidea (Coleoptera), constituída por 16 subfamílias (BOUCHARD et al. 2011), com aproximadamente 6.200 espécies no mundo subdivididas em 237 gêneros (TARASOV; GÉNIER, 2015). Os coleópteros da família Scarabaeidae, subfamília Scarabaeinae são comumente conhecidos como rola-bosta e

apresentam elevada diversidade de espécies em áreas tropicais, exercem papel importante no funcionamento dos ecossistemas onde coabitam (SCHOOLMEESTERS et al., 2010), além de formarem uma comunidade bem definida em termos taxonômicos e funcionais (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; HALFFTER; EDMONDS, 1982; HALFFTER, 1991).

No Brasil, aproximadamente 778 espécies já foram registradas, estando subdivididas em 65 gêneros (VAZ DE MELLO, 2022). Dentre as espécies registradas 323 são endêmicas do país (VAZ-DE-MELLO, 2000). Essa subfamília é composta por 11 tribos: Ateuchini, Delthochilini, Coprini, Eucraniini, Gymnopleurini, Oniticellini, Onitini, Onthophagini, Phanaeini, Scarabaeini e Sisyphini (SILVA, 2011).

Os representantes dessa família são detritívoros, utilizam matéria em decomposição, como restos de animais, frutos em decomposição e, principalmente, fezes de vertebrados como fonte de alimento e para construção de seus ninhos (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; SCHOLTZ; CHOWN, 1995). Dessa forma, possuem duas dietas principais: os coprófagos que consomem fezes de mamíferos e os necrófagos que utilizam restos de animais em decomposição, sendo considerados dentro de cada uma dessas dietas especialistas (consome apenas determinado alimento) ou generalistas (consome vários tipos de recursos) (HALFFTER; MATTHEWS, 1966).

As espécies de Scarabaeinae podem ser separadas em três grupos de acordo com a forma que utilizam o recurso alimentar na nidificação, que são: escavadores ou paracoprídeos são as espécies que escavam túneis subterrâneos logo abaixo do recurso; roladores ou telecoprídeos, que retiram e rolam uma esfera de alimento até o ninho, onde é enterrada e; residentes ou endocoprídeos, são os que não enterram ou rolam, nidificando no interior do recurso alimentar (LIMA et al., 2015).

Esses besouros possuem um papel de grande relevância na manutenção do sistema ecológico fazendo parte da reciclagem da matéria orgânica (SILVA et al., 2019); na dispersão secundária de sementes, uma vez que enterram as fezes de animais frugívoros em profundidades consideráveis, evitando dessa forma a predação das sementes por outros insetos ou vertebrados (ANDRESEN, 2002) e no controle de parasitas, pois enterram e consomem massas fecais de bovinos em áreas de pastagem, eliminando alguns organismos como a mosca-dos-chifres (LOUZADA, 2008; NICHOLS et al., 2008). Outra contribuição indispensável para a manutenção do sistema ecológico é a turbação do solo, uma vez que esses besouros possuem o hábito de cavar túneis no solo para nidificar, o que melhora a aeração, infiltração e retenção de água no solo (LIMA et al., 2015).

Espécies de besouros rola-bostas possuem a capacidade de inferir alterações na estrutura do solo (SOWIG, 1995) e da vegetação (DURÃES et al. 2005; ALMEIDA; LOUZADA, 2009) sobretudo relacionadas a cobertura de dossel (SILVA et al. 2010). Estes organismos também dão respostas a respeito de mudanças na composição da paisagem (LOUZADA et al. 2010). Estas alterações na paisagem modificam a composição das espécies desses besouros, isto faz com que áreas próximas, porém com diferentes estruturas na vegetação apresentem espécies distintas de besouros rola-bostas (ALMEIDA; LOUZADA, 2009; SILVA et al. 2010).

Nos diferentes sistemas ecológicos existem alguns fatores que são capazes de influenciar as comunidades de Scarabaeinae, como por exemplo, cobertura vegetal, tipo de vegetação, fragmentação, perda de habitat, estrutura física, altitude do ecossistema, disponibilidade de recursos alimentares, competição e atividades antrópicas (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; HANSKI; CAMBEFORT, 1991; KOHLMANN, 1991; DAVIS et al., 1999; HALFFTER; ARELLANO, 2002; ESCOBAR et al., 2007; CAJAIBA et al., 2017).

Diversas espécies apresentam adaptação a determinado tipo de habitat ou recurso alimentar, conseguindo viver melhor em áreas florestadas, pois esses espaços apresentam uma cobertura vegetal mais densa, em virtude de possuírem maior sombreamento e retenção da umidade em relação às áreas abertas ou serem adaptadas a viver em ambientes degradados (SILVA; DI MARE, 2012). Sendo assim, as composições de espécies podem ser menos semelhantes em ambientes distintos, e a interferência do ser humano, que tende a modificar o sistema ecológico, faz com que haja uma alteração maior nas comunidades, sendo capaz de influenciar na raridade e na perda local de espécies (DAVIS; PHILIPS, 2005).

A cobertura vegetal tem forte influência na vida desses indivíduos, uma vez que a elevada temperatura e a baixa umidade são responsáveis pela perda da viabilidade do recurso alimentar (GILL, 1991) e tendo conhecimento de que esses besouros se alimentam do líquido rico em microbiota de sua dieta, tanto a coprofagia quanto a necrofagia carecem da manutenção de umidade do recurso por longos períodos (HALFFTER; MATTHEWS, 1966).

Em geral, florestas secundárias apresentam um número crescente de espécies, ao longo de um gradiente de idade, de maneira que, quanto maior a idade destas florestas, mais a riqueza de espécies se aproxima dos valores encontrados em florestas primárias (DUNN, 2004). Assim como a riqueza, abundância e composição, a biomassa dos besouros também é uma variável resposta importante, pois há estudos que mostram que florestas primárias

costumam apresentar uma média significativamente maior de espécies com maior peso e tamanho corporal, em relação às florestas secundárias (Gardner et al., 2008a).

A magnitude do impacto dos distúrbios ocasionados em florestas primárias localizadas na Amazônia foi demonstrada para diversos grupos de fauna, incluindo os besouros escarabeíneos (BARLOW et al., 2016; SOLAR et al., 2015). Apesar dessa constatação ainda há carência de estudos sobre a fauna de escarabeídeos na Amazônia brasileira, sobretudo pela sua extensão territorial e diversidade de habitats (SANTOS et al., 2019).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

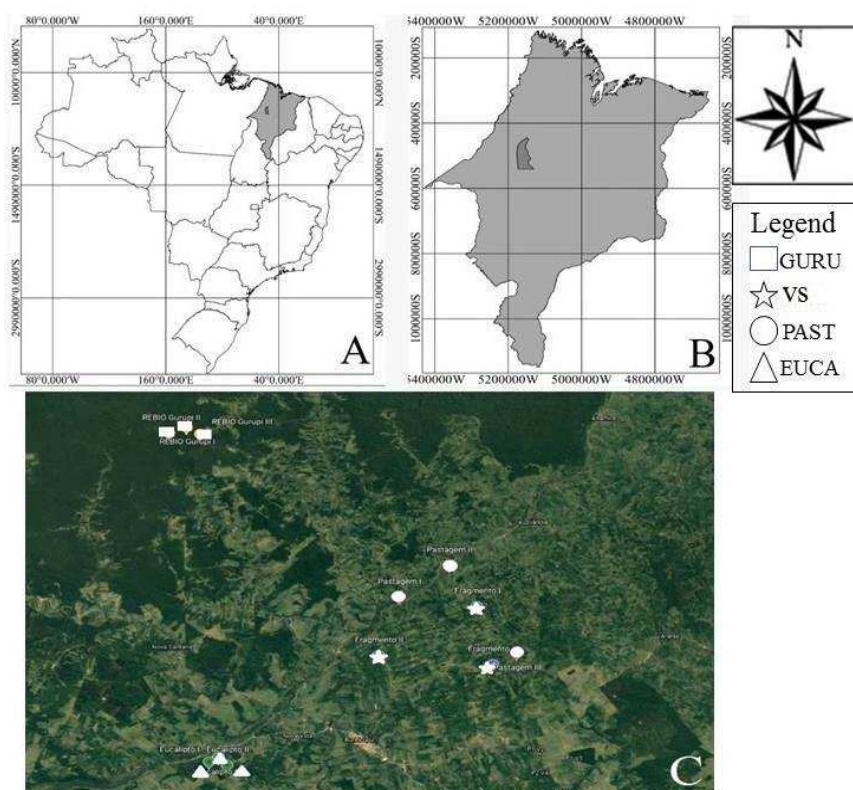
#### 3.1 Área de estudo

As coletas foram desenvolvidas em diferentes usos do solo, variando de: i) Área mais preservada, aqui representada pela Reserva Biológica do Gurupi, ii) vegetação secundária (em média com 7 anos de regeneração), iii) plantações de eucaliptos e, iv) pastagens para criação de bovinos (Figura 1), as quais foram pré-selecionadas através de imagens de satélites e visitas *in loco* (veja detalhamento do número de áreas de coletas na tabela 1). As áreas, serão aqui referenciadas, como: GURU (Reserva Biológica do Gurupi), VS (Vegetação Secundária), EUCA (Eucaliptos) e PAST (Pastagens).

A Reserva Biológica do Gurupi (REBIO do Gurupi) é a única Unidade de Conservação Federal de Proteção Integral na Área de Endemismo de Belém (CELENTANO et al., 2018). A REBIO do Gurupi constitui o maior fragmento remanescente de Floresta Amazônica no Maranhão, é a única unidade de conservação dessa natureza no Estado e faz parte de uma região que atualmente vem sendo bastante degradada pela ação antrópica, principalmente por desmatamentos para o cultivo de plantações, além da retirada de madeira ilegal (CELENTANO et al., 2018).

A região da REBIO do Gurupi está localizada na Mesorregião Oeste do Maranhão, compreendendo os municípios de Centro Novo do Maranhão, Bom Jardim e São João do Caru, abrangendo as microrregiões de Gurupi, Imperatriz e Pindaré, incluindo as cidades de Açailândia, Imperatriz, Zé doca, Bom Jesus das Selvas, Santa Inês, Carutapera e Itinga do Maranhão, além de sofrer influência da Mesorregião Sudeste Paraense com a microrregião de Paragominas, sendo toda esta a área de influência da reserva, de acordo com REBIO (1999).

As áreas de vegetação secundária, plantações de eucaliptos e pastagens para criação de bovinos estavam localizadas no município de Buriticupu, estado do Maranhão, nordeste do Brasil (Figura 1).



**Figura 1.** Localização do estado do Maranhão (A) Brasil; Localização geográfica do município de Buriticupu (B), Maranhão; Imagem de satélite mostrando a localização dos pontos de coleta nas áreas amostradas, GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (com 7 anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem (C). Fonte: Google Earth (2020).

O município possui uma extensão territorial de 2.545,44 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 71.723 habitantes (IBGE, 2018). O relevo é constituído por formações de tabuleiros, separados em faixas por drenos e grotões, situado a uma altitude de 200m acima do nível do mar (LIMA et al., 2018). Encontra-se inserido em sua totalidade no ambiente geológico conhecido como Bacia Sedimentar do Pindaré, que atinge 12,40% das Bacias do Estado do Maranhão.

As principais atividades econômicas são a produção extrativista vegetal, pecuária e fruticultura (NICASIO et al., 2019). Porém, ultimamente, atividades como a monocultura de eucaliptos e soja tem se expandido pelo município. Segundo Cajaiba et al. (2019), o município Buriticupu, perdeu 97% da cobertura vegetal nativa.

O clima da região é classificado como Aw (Köppen), quente e úmido (ALVARES et al., 2014). Apresenta duas estações bem definidas: o período chuvoso, de dezembro a junho e o período de estiagem, de julho a novembro. A temperatura média anual varia de 25 a 27°C; a umidade relativa do ar é de 80%, em média, enquanto os índices pluviométricos estão entre 1.800 e 2.000mm (CAJAIBA et al., 2019).

### 3.2 Desenho experimental

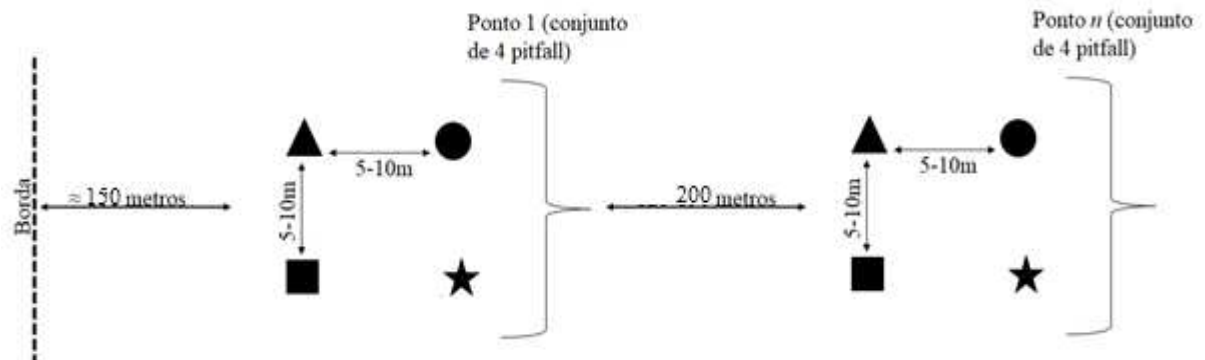
Foi realizado três replicações em cada uso de solo (vegetação secundária, plantações de eucaliptos e pastagens). REBIO do Gurupi foi dividida em três talhões (partes) (distantes entre si 2 km), resultando em um total de 12 parcelas. A armadilha utilizada no estudo foi uma armadilha de queda (*pitfall*), eficaz para a amostragem de Scarabaeinae e trata-se de um método rápido e de baixo custo (CHELI et al., 2010). A *pitfall* utilizada possuía 200mm de diâmetro e 110mm de altura, a mesma foi preenchida por 200ml de água com sal grosso e algumas gotas de detergente para quebrar a tensão superficial do líquido. Um prato descartável invertido foi instalado em cima de cada armadilha e distante 100mm do solo para evitar entrada de folhas na armadilha (Figura 2).



**Figura 2.** Armadilha *pitfall* instalada com isca e prato descartável invertido instalado em cima da armadilha. Fonte: A autora (2019).

Em cada área de estudo foram instalados sete conjuntos de armadilha de queda, cada conjunto composto por quatro *pitfalls*: uma não-iscada (controle) e três com atrativos (banana, carne e fezes humana), totalizando 28 *pitfalls* em cada área, totalizando 84 *pitfalls* por habitat amostrado. O esforço amostral total foi de 336 armadilhas instaladas. As amostragens foram efetuadas entre agosto e outubro de 2019. As *pitfalls* foram instaladas de 5 a 10m uma das outras e os conjuntos de 200m, respeitando assim a independência das réplicas. Para evitar o efeito borda, as armadilhas foram instaladas a uma distância mínima de 150 metros da borda (CAJAIBA et al., 2018b) (Figura 3). A *pitfall* ficou instalada durante o período de 48 horas contínuas. O período e a intensidade do levantamento amostral, serviram para comparar a

sensibilidade geral dos besouros às mudanças em curso, avaliando seu uso como indicadores ecológicos de perturbação (DALE; BEYLER, 2001; SANTOS; CABRAL, 2004).



**Figura 3.** Esquema de distribuição dos conjuntos de armadilhas *pitfall* em cada habitat amostrado. As figuras representam as armadilhas: não-iscadas (Triângulo), com frutas (Círculo), fezes (Quadrado) e carne (Estrela).

### 3.3 Variáveis ambientais

Foram medidas as seguintes variáveis do microclima e do ecossistema por habitats: Temperatura (T), Umidade (H), Precipitação (P), Latitude (L), Longitude (LT), Cobertura do Dossel (CD), Número de Espécies de Plantas (NEP), Número de Plantas (NP), Número de Espécies de Arbustos (NEA), Número de Arbustos (NA), Porcentagem de Solo Exposto (PSE), Porcentagem de Cobertura Verde (PCV), Porcentagens de Cobertura de Serapilheira (PCS e Altura da Serapilheira (AS).

A temperatura do ar, a umidade relativa e a precipitação de cada área estudada foram medidas durante a instalação e remoção das armadilhas por uma estação meteorológica portátil e por sensores Data Logger modelo U12-013. Para avaliar a complexidade ambiental de cada ambiente, foi adotado o método do quadrante (CAMPOS; HERNÁNDEZ, 2015). Foi marcado um ponto central entre as quatro armadilhas e medido 5m para cada lado (norte, sul, oeste e leste), totalizando uma área de 100 m<sup>2</sup> (10m x 10m).

Em cada quadrante, foi calculada a altura da serapilheira utilizando-se de cortes verticais do solo. O método consiste em cortar a serapilheira, em um único movimento, com uma ferramenta cortante que penetra no solo. Sem retirar a ferramenta, empurra-a para um dos lados e expõe o perfil aberto pelo corte. Esse método permite medir, em centímetros, a altura da serapilheira (MEDRI et al., 2009). Foi calculada também, as porcentagens de cobertura de serapilheira, área verde e área de solo exposto (sem vegetação ou serapilheira), variando de 0-100% (CAMPOS; HERNÁNDEZ, 2015).



Utilizando-se os mesmos critérios, foi calculada a porcentagem da cobertura do dossel através de fotografias hemisféricas que foram obtidas no ponto central entre as quatro armadilhas e em todos os pontos. As fotografias foram obtidas por câmera fotográfica digital, modelo profissional (veja descrição detalhada em RICH, 1990). As imagens foram analisadas utilizando o software Gap Light Analyzer vs. 2.0 (FRAZER et al., 1999) para o cálculo da cobertura/abertura do dossel. A latitude, longitude e elevação de cada ponto foram medidas através de um GPS Garmin®. Esse processo foi repetido para todos os pontos onde as armadilhas *pitfalls* foram instaladas.

### **3.4 Identificação, Banco de Dados e Depósito**

Inicialmente, todo o material coletado foi triado, montado e identificado em nível de gênero no Laboratório de Ecologia e Conservação do Instituto Federal do Maranhão, *Campus* Buriticupu. Espécimes *vouchers* foram depositados na Coleção Entomológica do Laboratório de Ecologia e Conservação do Instituto Federal do Maranhão, *Campus* Buriticupu (CE-LABECO/ IFMA) e serão depositadas na Coleção Entomológica da UEMA.

A autorização para as referidas coletas foi obtida através do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO nº 70389-1 (Código de autenticação: 0703890120190730).

### **3.5 Análises Estatísticas**

Curvas de rarefação foram usadas para avaliar se o esforço de amostragem foi suficiente para monitorar todas as espécies por ecossistema, e a eficiência média da amostragem foi calculada com base em Chao 1 (CHAO et al., 2009). A riqueza de espécies e abundância de besouros de cada ecossistema foram medidas, e as diferenças entre os ecossistemas foram avaliadas usando análise de Kruskal-Wallis e testes Dunn para verificar diferenças específicas. Usamos o Kruskal-Wallis e não uma Anova devido nossos dados apresentaram uma distribuição não-paramétrica, com base no teste de Shapiro-Wilk.

A composição taxonômica das comunidades de Scarabaeinae entre os ecossistemas foi comparada usando Análise de Variância Permutacional Multivariada (PERMANOVA). As comunidades de besouros e o conjunto de variáveis ambientais foram relacionados através da Análise de Redundância (RDA). Na RDA, as espécies foram representadas por pontos e as variáveis ambientais por setas que indicam a direção das mudanças de abundância no espaço de ordenação, sendo o comprimento da seta proporcional à sua importância na explicação da variância projetada no eixo (TER BRAAK; VERDONSCHOT, 1995). A fim de reduzir o

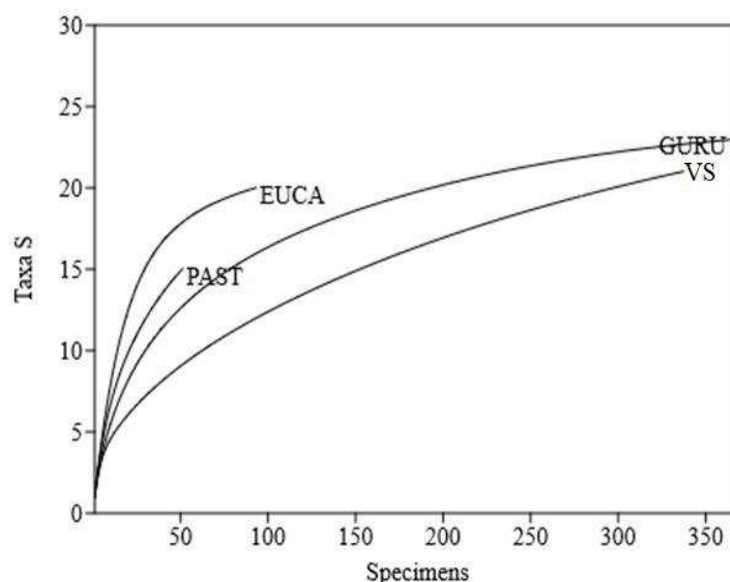
possível viés associado à correlação das variáveis ambientais, uma correlação não paramétrica foi realizada para selecionar as variáveis menos correlacionadas anteriormente ao RAD (rho de Spearman  $<0,75$ ) (GRAHAM, 2003). Este procedimento selecionou as seguintes variáveis ambientais: Temperatura (T), Umidade (H), Cobertura do Dossel (CD), Porcentagem de Solo Exposto (PSE), Porcentagem de Cobertura de Serapilheira (LLC), Número de Plantas (NP), Diâmetro à altura do Peito (DAP). A significância da influência das variáveis sobre os eixos da RDA foi obtida a partir de 999 permutações.

Não houve interação entre qualquer tipo de iscas com os ambientes ( $F = 0.981$ ,  $p > 0.05$ ). Dessa forma, as análises dos diferentes tipos de iscas foram feitas de forma isoladas. Utilizando análise de Kruskal-Wallis e testes Dunn para verificar diferenças específicas. Todas as análises foram realizadas usando o programa R 3.2.4 (R Core Team, 2016).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Análises de Riqueza, Abundância e Composição

A curva de rarefação utilizada para avaliar se o esforço de amostragem foi suficiente para monitorar todas as espécies por ecossistema ainda continua crescendo, sugerindo que o esforço amostral deveria ser maior para que mais indivíduos pudessem ser capturados (Figura 4).



**Figura 4.** Curvas de rarefação de base individual de Scarabaeidae. GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (com sete anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem.

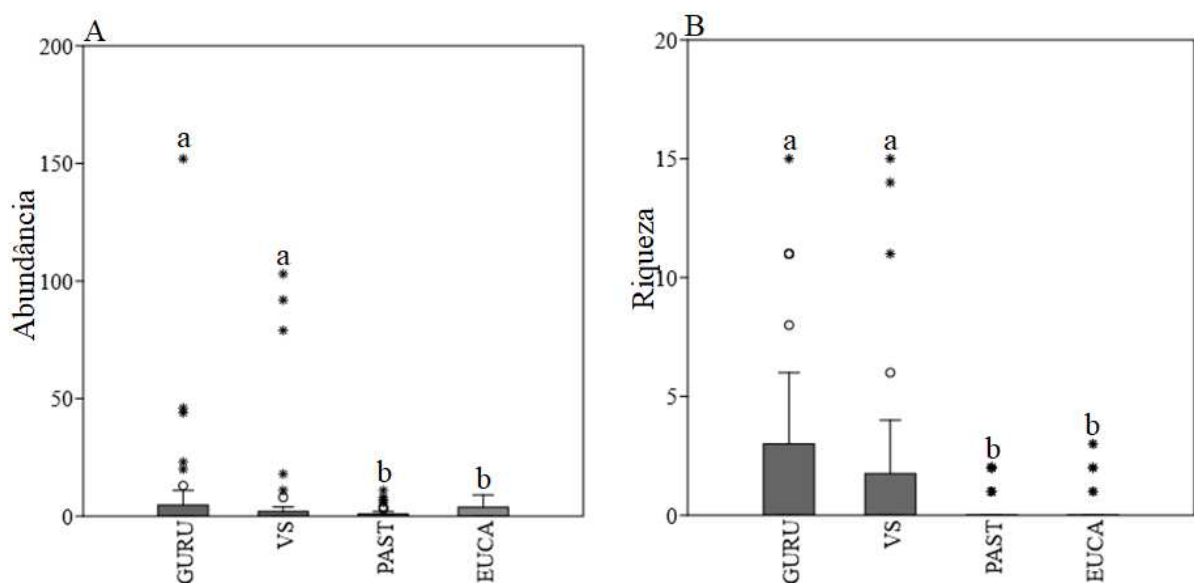
Ao todo, foram coletados 1.378 indivíduos, agrupados em nove gêneros, divididos em 34 espécies, destes, *Eurysternus* sp1 foi a espécie mais abundante com 183 indivíduos, seguida por *Canthidium deyrollei* e *Canthon* sp1, com 128 e 117 indivíduos, respectivamente (Tabela 2). Estas espécies representam 14,40% da abundância total. O ambiente que apresentou maior abundância foi a vegetação primária, representado pela Rebio Gurupi (GURU), com 683 indivíduos, seguido pela vegetação secundária (VS), com 642 indivíduos. Por outro lado, plantações de eucalipto (EUCA) apresentou a menor abundância, com 25 indivíduos. A riqueza seguiu o mesmo padrão, com 27 espécies para GURU e 25 espécies para VS; PAST e EUCA apresentaram a menor riqueza, com oito espécies cada (Tabela 1).

**Tabela 1.** Abundância e riqueza de espécies coletadas em GURU - Vegetação mais preservada; VS - Vegetação Secundária (com sete anos de regeneração); EUCA - Plantações de eucalipto e PAST - Pastagem.

TRIBO/ ESPÉCIE	GURU	VS	PAST	EUCA	TOTAL
<b>ATEUCHINI</b>					
<i>Ateuchus pygidialis</i>	28	6	-	-	34
<i>Ateuchus robustus</i>	7	-	-	2	9
<i>Ateuchus</i> sp1	18	10	-	-	28
<i>Ateuchus</i> sp2	1	-	-	-	1
<i>Ateuchus</i> sp3	46	18	-	-	64
<i>Uroxys</i> sp	-	6	4	7	17
<b>CANTHONINI</b>					
<i>Canthon chalybaeus</i>	24	2	-	-	26
<i>Canthon fulgidus</i>	34	56	-	-	90
<i>Canthon triangularis</i>	6	8	2	-	16
<i>Canthon</i> sp1	2	109	6	-	117
<i>Canthon</i> sp2	8	2	-	-	10
<i>Canthon</i> sp3	34	4	-	-	38
<i>Canthon</i> sp4	1	1	-	-	2
<i>Deltochilum submetallicum</i>	8	2	-	-	10
<i>Deltochilum</i> sp1	-	16	-	-	16
<i>Deltochilum</i> sp2	-	4	-	-	4
<i>Deltochilum</i> sp3	-	-	4	-	4
<b>COPRINI</b>					
<i>Canthidium deyrollei</i>	106	18	-	4	128
<i>Canthidium</i> sp1	3	-	-	-	3
<i>Canthidium</i> sp2	20	8	-	-	28
<i>Canthidium</i> sp3	-	-	-	1	1
<i>Canthidium</i> sp4	32	38	-	-	70
<i>Dichotomius</i> sp1	10	98	2	-	110
<i>Dichotomius</i> sp2	-	100	2	-	102
<i>Ontherus</i> sp1	88	4	-	-	92

<i>Ontherus</i> sp2	10	-	-	-	10
<i>Ontherus</i> sp3	2	-	-	-	2
<b>ONITICELLINI</b>					
<i>Eurysternus wittmerorum</i>	2	14	4	2	22
<i>Eurysternus</i> sp1	82	98	-	3	183
<i>Eurysternus</i> sp2	46	10	-	-	56
<i>Eurysternus</i> sp3	-	4	-	4	8
<b>PHANAEINI</b>					
<i>Oxysternon</i> sp1	7	-	-	-	7
<i>Oxysternon</i> sp2	1	-	-	-	1
<i>Oxysternon</i> sp3	57	6	4	2	69
<b>Abundância</b>	683	642	28	25	1378
<b>Riqueza</b>	27	25	8	8	34

De acordo com a análise de Kuskal-Wallis, houve diferença estatística na abundância entre os habitats (KW = 6.12;  $p < 0.01$ ). Os valores post-hoc de Dunn ( $p < 0,05$ ) mostraram que a vegetação mais preservada e vegetação secundária não apresentaram diferenças entre si ( $p > 0.05$ ), mas foram diferentes de pastagens e plantações de eucalipto ( $p < 0.05$ ). Pastagens e plantações de eucalipto não apresentam diferenças entre si ( $p > 0.05$ ) (Figura 5A). A riqueza também diferiu entre os ambientes (KW = 7.40;  $p < 0.0001$ ). A vegetação mais preservada e vegetação secundária não foram diferentes entre si ( $p > 0.05$ ), mas ambas foram diferentes entre pastagens e plantações de eucalipto ( $p < 0.04$ ). Pastagens e plantações de eucalipto não apresentaram diferença na riqueza de acordo com o teste Dunn ( $p > 0.05$ ) (Figura 5B).



**Figura 5.** (A) Número de indivíduos (abundância) e (B) Número de espécies (riqueza) da comunidade de Scarabaeinae nos diferentes habitats considerados. Os valores seguidos por letras diferentes são

significativamente diferentes. GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (com sete anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem.

Das 34 espécies amostradas, seis espécies foram coletadas exclusivamente na vegetação mais preservada, seguido por vegetação secundária, com duas espécies únicas, já plantações de eucalipto e pastagens apresentaram apenas uma espécie cada. Duas espécies foram coletadas em todos os ambientes amostrados (Tabela 2).

**Tabela 2.** Espécies coletadas exclusivamente em GURU - Vegetação mais preservada; VS - Vegetação Secundária (com sete anos de regeneração); EUCA - Plantações de eucalipto e PAST - Pastagem.

ESPÉCIES EXCLUSIVAS	HABITAT
<i>Ateuchus</i> sp2	GURU
<i>Canthidium</i> sp1	GURU
<i>Canthidium</i> sp3	EUCA
<i>Deltochilum</i> sp1	VS
<i>Deltochilum</i> sp2	VS
<i>Deltochilum</i> sp3	PAST
<i>Ontherus</i> sp2	GURU
<i>Ontherus</i> sp3	GURU
<i>Oxysternon</i> sp	GURU
<i>Oxysternon</i> sp2	GURU

A Análise de Variância Permutacional Multivariada (PERMANOVA) mostrou que a composição de espécies foi significativamente diferente entre os ambientes ( $F = 4.41$ ;  $p < 0.0001$ ). Entretanto, numa análise pareada da Permanova, mostrou que não houve diferenças entre vegetação mais preservada e vegetação secundária; plantações de eucalipto e pastagens (Tabela 3).

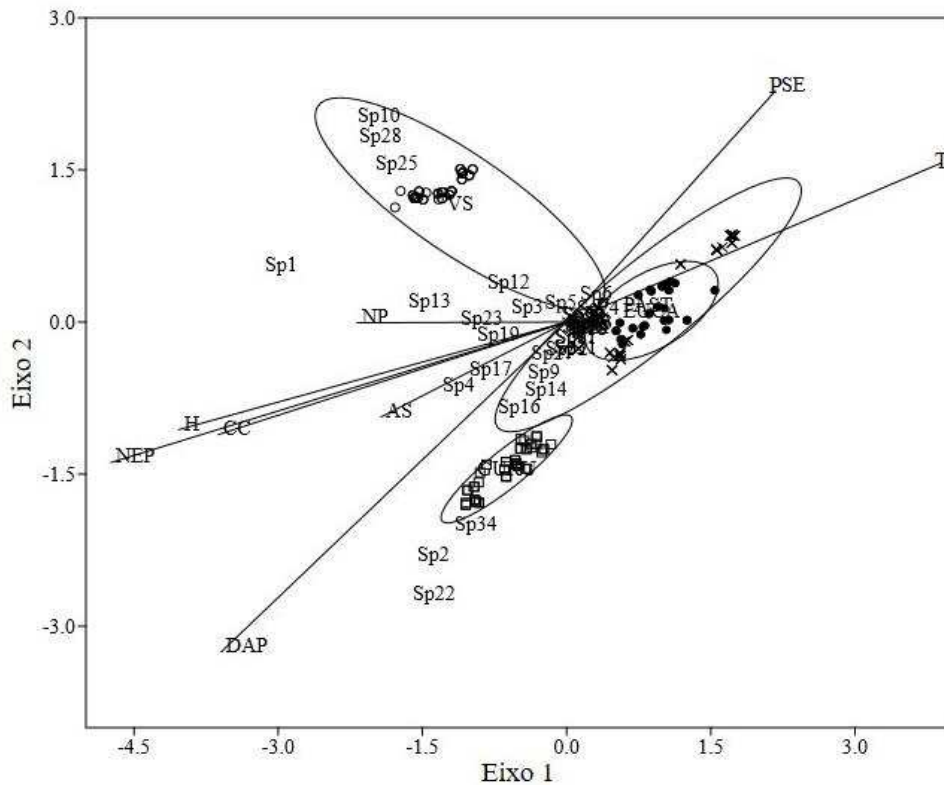
**Tabela 3.** Análise de Variância Permutacional Multivariada (PERMANOVA) mostrando diferenças significativas na composição de Scarabaeinae entre os ambientes. Os valores em cinza correspondem a  $p$ -value. GURU - Vegetação mais preservada; VS - Vegetação Secundária (com sete anos de regeneração); EUCA - Plantações de eucalipto e PAST - Pastagem.

	GURU	VS	PAST	EUCA
GURU.	-	$p > 0.05$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
VS	0.83	-	$p < 0.05$	-
PAST	5.87	4.12	-	$p > 0.05$
EUCA	8.64	6.32	0.99	-

#### 4.2 Efeitos de variáveis ambientais nas assembleias de Scarabaeinae

Os dois primeiros eixos da Análise de Redundância (RDA) explicaram 65% da variação. O primeiro eixo da RDA revelou correlações positivas com Umidade (H), Diâmetro

à Altura do Peito (DAP), Cobertura do Dossel (CD), Número de Plantas (NP), Altura da Serapilheira (AS), Número de Espécies de Plantas (NEP); o segundo eixo apresentou correlações positivas com Temperatura (T) e Porcentagem de Solo Exposto (PSE) (Figura 6) (Tabela S1 - Material Suplementar).

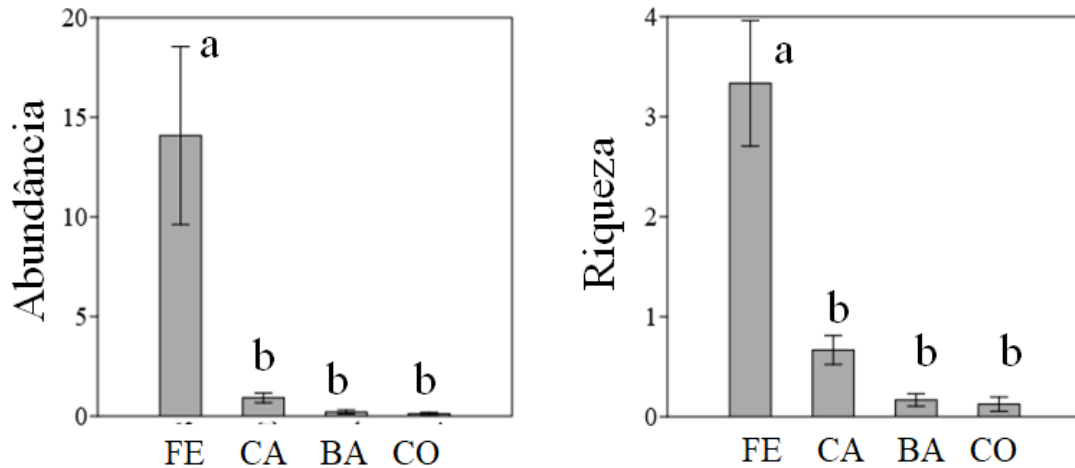


**Figura 6.** Análise de Redundância (RDA) usada para estimar a influência das variáveis ambientais sobre a comunidade de besouros (Scarabaeinae). GURU, Vegetação mais preservada; VS, Vegetação secundária (com sete anos de regeneração); EUCA, Plantações de eucalipto; PAST, Pastagem. Umidade (H), diâmetro à altura do peito (DAP), cobertura do dossel (CD), número de plantas (NP), altura da serapilheira (AS), número de espécies de plantas (NEP); temperatura (T) e porcentagem de solo exposto (PSE).

### 4.3 Atratividade de besouros Scarabaeinae a diferentes tipos de iscas

A maior abundância de besouros foi observada na armadilha de queda com isca de fezes (1.062 indivíduos), sendo significativamente superior às demais iscas ( $F = 9.36$ ;  $p < 0.001$ ) (Figura 7A), seguida por iscas de carne com 235 indivíduos. As iscas de fezes também capturaram a maior riqueza de espécies (31 espécies) ( $F = 22.02$ ;  $p < 0.0001$ ) (Fig. 7B), essa foi seguida por iscas de carne (11 espécies) (Tabela S2, Material Suplementar). Esse padrão de maior abundância e riqueza para as iscas de fezes foram observados em todos os

ambientes. Fezes também capturou o maior número de espécies em todos os ambientes avaliados (Figura S1, Material Suplementar).



**Figura 7.** Análise dos diferentes tipos de iscas observados em todos os ambientes para (A) abundância e (B) riqueza. Fezes (FE); Carne (CA); Banana (BA); Controle (CO).

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Análises de Riqueza, Abundância e Composição

Ainda que, as curvas de rarefação tenham mostrado um contínuo crescimento, nosso nível de completude de amostragem é provavelmente suficiente para tirar conclusões sobre os ecossistemas amostrados, sendo possível observar que nossas amostras apresentaram uma tendência para atingir uma assíntota, com exceção de pastagem. Tendo em vista, que é improvável que um ponto final assintótico seja atingido, particularmente para invertebrados (GOTELLI et al. 2014).

Os resultados contrariaram as hipóteses de que a área mais preservada, representada pela GURU apresentariam maior abundância e riqueza de espécies em relação à vegetação secundária. Foi identificado que a vegetação mais preservada apresentou padrões semelhantes de abundância e riqueza à vegetação secundária, e este resultado poderá estar relacionado ao fato dessas áreas estarem sendo submetidas à degradação florestal, devido à exploração ilegal de madeira, queimadas, desmatamento e pecuária (MOURA et al., 2011). A extração de árvores para madeira e carvão tem como resultado o empobrecimento e degradação da floresta, tornando-a mais suscetível ao fogo e à conversão em pastagens (CELENTANO et al., 2018).

Embora as áreas de vegetação mais preservada estejam sendo submetidas à degradação florestal, os resultados demonstraram que os habitats mais preservados foram associados a maior abundância, riqueza e composição diferenciada de Scarabaeinae quando comparados com áreas de pastagens e eucaliptos, estando em conformidade com padrões anteriores descritos para outros grupos de indivíduos, particularmente besouros (GONZÁLEZ-MEGÍAS et al., 2011; CAJAIBA et al., 2017). Esta tendência pode estar associada à estrutura complexa da vegetação mais preservada, observada na Reserva do Gurupi (GURU) e, sobretudo, para vegetação secundária (NICHOLS et al., 2009; BICKNELL et al., 2014), conectada a uma gama de características ambientais que são mais favoráveis para a sobrevivência e reprodução desses insetos, como maior profundidade e solos mais macios, maior teor de umidade, ar e temperatura do solo mais estáveis, menor insolação e maior concentração de recursos alimentares (ANDRESEN, 2005; CAJAIBA et al. 2017), explicando os resultados obtidos na Análise de Redundância (RDA).

De acordo com estudos de Gardner et al. (2008b) na Amazônia, estes autores defendem que, ainda que não possam ser considerados “desertos verdes”, uma vez que as espécies podem sobreviver em locais próximos à mata, áreas de eucalipto possuem recursos limitados para as espécies desses ambientes, essas áreas apresentam menor diversidade de compostos orgânicos na serapilheira. São áreas que possuem menor complexidade vegetal (e, conseqüentemente, animal); são ambientes mais homogêneos; apresentam menor visitação de animais; além das condições microclimáticas não serem favoráveis para algumas espécies (altas temperaturas, radiação solar e menor cobertura do solo para as larvas) (NIERO; HERNÁNDEZ, 2017).

Quando comparada com áreas preservadas, área de pastagem também apresenta menor riqueza e abundância de Scarabaeinae (MEDRI; LOPES, 2001; SILVA et al., 2014), por isso as espécies apresentam dificuldades em colonizar esses habitats e, dessa forma, exibem menor diversidade em comparação com áreas preservadas (NIERO; HERNÁNDEZ, 2017).

Foi demonstrado que os habitats amostrados eram constituídos por diferentes espécies de besouros, muito embora, tenha havido alguma sobreposição entre a vegetação mais preservada e vegetação secundária. Tal variação pode estar relacionada a vários fatores, como a sensibilidade das espécies ao esforço amostral, a escala espacial e temporal do estudo, intensidade, frequência e tipo de perturbação (CAJAIBA et al., 2017). Várias espécies de Scarabaeinae são altamente específicas quando se refere ao habitat e não estendem suas populações para áreas abertas (KLEIN, 1989; ALMEIDA; LOUZADA, 2009), podendo



diminuir ou se tornar ausente no local (HERNÁNDEZ; VAZ-DE-MELLO, 2009; HERNÁNDEZ et al., 2014), reduzindo, dessa forma, o *pool* de espécies para outras áreas da paisagem (KORASAKI et al., 2013).

A cobertura da vegetação possui relação direta com heterogeneidade do habitat, sendo um fator de enorme efeito na distribuição espacial desses besouros, além de representar um conjunto de fatores que impactam as oscilações do microclima, o que tem influência na escolha e na preferência do ambiente pelas espécies (SILVA; DINIZ; VAZ-DE-MELLO, 2010). A fragmentação, perda de habitat, estrutura física e altitude na qual se encontra o sistema ecológico, além de atividades antrópicas, também são alguns fatores que possuem influência sobre a assembleia de Scarabaeinae em habitats distintos (DAVIS et al., 1999; HALFFTER; ARELLANO, 2002; ESCOBAR et al., 2007).

Dessa forma, com a simplificação do ambiente devido a ações antrópicas, a comunidade de Scarabaeinae é afetada, sofrendo modificações no número de indivíduos e espécies, sendo esses fatores responsáveis pela redução na capacidade de execução dos serviços ecológicos (BRAGA, 2009), já que ambientes que possuem maior cobertura de serapilheira podem favorecer o desenvolvimento de restos vegetais, troncos e galhos quebrados, propiciando condições ideais para o rápido crescimento populacional dessas espécies (CAJAIBA; DA SILVA; PÉRICO, 2018). Esta constatação é corroborada com pesquisas já realizadas que demonstraram que a composição, produtividade e diversidade da comunidade de plantas são os principais fatores que influenciam a abundância, diversidade e composição da comunidade de artrópodes (LIU et al., 2016; CAJAIBA et al., 2017).

## **5.2 Efeitos de variáveis ambientais sobre a subfamília Scarabaeinae**

Nossos resultados revelaram que as assembleias de Scarabaeinae de sistemas ecológicos altamente perturbados (por exemplo, pastagem) estão principalmente associadas a solo nu e temperaturas elevadas. Em contraste, as comunidades de sistemas ecológicos primitivos (vegetação mais preservada) são positivamente influenciadas pela vegetação estrutural complexa, solo e umidade, que também são determinantes fundamentais da ecologia das comunidades de Scarabaeinae (DA SILVA; HERNÁNDEZ, 2016; CAJAIBA et al., 2017). Quanto à serapilheira, o tipo e a profundidade são determinantes ecológicos essenciais, pois fornecem nichos de caça e forrageamento, proteção contra predadores e dessecação (CAJAIBA et al., 2017). Detritos grosseiros são considerados essenciais como local de hibernação, para oviposicionamento e desenvolvimento larval para inúmeras espécies de Scarabaeinae (LÖVEI et al., 2006; CAJAIBA; SILVA, 2017).

A compactação do solo é favorecida pelo pisoteio do gado presente nas áreas de pastagem, que por sua vez, ocasiona a diminuição dos recursos por meio da camada de serapilheira, abrigos e locais de caça (KLEIN 1989; LAURANCE 2004; LAURANCE et al. 2011). Além do mais, a redução dessa cobertura gera efeitos negativos sobre o forrageamento ou a manutenção dos balanços hídricos para esses insetos (LÖVEI et al., 2006). Nessa perspectiva, a distribuição espaço-temporal das assembleias desses besouros e dos grupos que estão relacionados ao habitat é influenciada pela cobertura do dossel (SILVA et al., 2019).

Somado a isso, os pastos para criação de bovinos são frequentemente caracterizados por um dossel relativamente mais aberto, apresentando menor ocorrência de ambiente sub-florestal quente e seco, além de uma quantidade reduzida de serapilheira no solo, podendo ser essa a explicação para o empobrecimento observado nessas comunidades (CAJAIBA; DA SILVA; PÉRICO, 2018).

Ademais, solos rasos que possuem apenas acúmulo de substrato superficial são desfavoráveis para o estabelecimento das espécies escavadoras e roladoras, pois, os indivíduos não são capazes de escavar o solo (HALFFTER, 1991).

A cobertura da vegetação possui relação direta com heterogeneidade do habitat, sendo também um fator de enorme efeito na distribuição espacial desses besouros, além de representar um conjunto de fatores que impactam as oscilações do microclima, o que tem influência na escolha e na preferência do ambiente pelas espécies (SILVA; DINIZ; VAZ-DE-MELLO, 2010). A fragmentação, perda de habitat, estrutura física e altitude na qual se encontra o sistema ecológico, além de atividades antrópicas, também são alguns fatores que possuem influência sobre a assembleia de Scarabaeinae em habitats distintos (DAVIS et al., 1999; HALFFTER; ARELLANO, 2002; ESCOBAR et al., 2007).

Dessa forma, com a simplificação do ambiente devido a ações antrópicas, a comunidade de Scarabaeinae é afetada, sofrendo modificações no número de indivíduos e espécies, sendo esses fatores responsáveis pela redução na capacidade de execução dos serviços ecológicos (BRAGA, 2009), já que ambientes que possuem maior cobertura de serapilheira podem favorecer o desenvolvimento de restos vegetais, troncos e galhos quebrados, propiciando condições ideais para o rápido crescimento populacional dessas espécies (CAJAIBA; DA SILVA; PÉRICO, 2018). Esta constatação é corroborada com pesquisas já realizadas que demonstraram que a composição, produtividade e diversidade da comunidade de plantas são os principais fatores que influenciam a abundância, diversidade e composição da comunidade de artrópodes (LIU et al., 2016; CAJAIBA et al., 2017).

Embora nesses resultados a temperatura tenha apresentado correlação negativa com a abundância e riqueza, vale salientar que na região amazônica a temperatura apresenta pouca variação no decorrer de todo o ano. No entanto, é possível observar que a temperatura varia entre ambientes preservados vs impactados, tornando-se junto à elevada umidade o principal fator que possui influência sobre a dinâmica de invertebrados nessas regiões (ANDRESEN 2008, CAJAIBA et al. 2017).

A dissemelhança nas características ambientais entre as áreas de estudo podem representar o grau de mudança ou o estado de sucessão da estrutura florestal nas áreas em questão (DA SILVA; HERNÁNDEZ, 2016). A distribuição de VIEGAS et al. 2014). besouros ao longo de diferentes características no ambiente pode, geralmente, demonstrar associações discretas com biótipos específicos dentro da paisagem (DAVIS et al. 2001).

### **5.3 Atratividade de besouros Scarabaeinae a diferentes tipos de iscas**

Nos resultados obtidos, foi detectada uma clara diferença de atratividade dos tipos distintos de iscas para Scarabaeinae dentro dos habitats estudados, sendo a isca de fezes humanas a que apresentou maior atratividade. Esses resultados são validados por outros estudos (HALFFTER et al., 1992; ENDRES et al., 2007; CONDÉ, 2008; FILGUEIRAS et al., 2009; AUDINO et al., 2011; SILVA et al., 2012a; SILVA; Di MARE, 2012, SILVA et al., 2013). Na região Neotropical, excrementos humanos são um dos atrativos que são mais efetivos na captura de Scarabaeinae, tanto em florestas quanto em pastagens (CORREA et al., 2017). Por essa razão, as fezes humanas têm sido consideradas fundamentais quando se busca amostrar a maior abundância e riqueza de espécies de besouros, independente da estrutura vegetal (CORREA et al. 2016a).

A hipótese para maior atratividade em fezes humanas poderá estar relacionada à ocorrência de besouros coprófagos, que utilizam excrementos de mamíferos e outros vertebrados como fonte de alimento (HALFFTER; MATTHEWS, 1966). A alta especialização na coprofagia pode ter relação com a maior disponibilidade de excrementos de mamíferos e outros vertebrados nos sistemas ecológicos (HALFFTER; MATTHEWS, 1966). Já as carcaças de animais e frutos em decomposição são disponibilizadas com menor frequência no ambiente, podendo ser esse um dos motivos da preferência destes organismos por excrementos humanos (LOUZADA; LOPES, 1997).

A predileção por fezes de mamíferos onívoros utilizadas para nidificação e como alimento tanto por adultos, quanto por larvas parece resultar de processos evolutivos (CAJAIBA et al., 2017). Sendo sugerido com essa perspectiva que a perda de mamíferos (isto

é, suas fezes como recurso alimentar) pode modificar as interações competitivas entre as espécies desses besouros, tendo capacidade até de ocasionar a extinção local de espécies que possuem alta especialização (BOGONI; HERNÁNDEZ, 2014).

A redução na riqueza e abundância observado em nos resultados parece estar correlacionada com a perturbação no ambiente (GARDNER et al., 2008; DA SILVA; HERNÁNDEZ, 2016; CAJAIBA et al., 2017), onde se espera diminuir as populações de diversas espécies de mamíferos (CULOT et al., 2013) e, por conseguinte, os recursos alimentares para esses besouros (DA SILVA; HERNÁNDEZ, 2016). As consequências da ausência e remoção de mamíferos não se limita apenas à perda de espécies ou ao crescimento no número de indivíduos (NICHOLS et al., 2009), mas também à processos ecológicos que podem ser afetados, como por exemplo, a dispersão secundária de sementes ou o consumo de outros recursos, como fungos e carcaças de invertebrados (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; SHOLTZ; CHOWN, 1995; NICHOLS et al., 2008; NICHOLS et al., 2009).

Neste estudo armadilhas iscadas com carne em decomposição e banana apresentaram menor atratividade. Ainda que, isso tenha acontecido estas iscas podem ser utilizadas como um recurso alternativo (AUDINO et al., 2011). Uma vez que as armadilhas iscadas possuem a tendência de serem seletivas, sendo assim, se a finalidade de um trabalho específico é uma avaliação da comunidade em geral, para coletar a maior diversidade e estimar as abundâncias relativas é imprescindível a utilização de diferentes iscas (RAFAEL, 2002). Dessa forma, torna-se uma abordagem eficaz para melhorar a detecção e descrição das respostas de Scarabaeinae a perturbações e pressões antrópicas, além de possibilitar uma maior integração dos esforços de coleta de dados ecológicos em regiões tropicais (CAJAIBA et al., 2017).

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esses resultados fornecem evidências de que habitats preservados, como a Unidade de Conservação aqui estudada, abrigam uma maior abundância, riqueza e composição diferenciada de Scarabaeinae, quando comparados com habitats degradados (pastagens e eucaliptos). Foi demonstrado que as espécies encontradas na área de vegetação primária foram correlacionadas positivamente com umidade, porcentagem de cobertura da serapilheira e altura da serapilheira e densidade de árvores, enquanto que espécies localizadas em áreas mais impactadas, como pastagens e eucaliptos estavam mais relacionadas à porcentagem de solo exposto e temperatura. Em relação à atratividade de Scarabaeinae nos habitats estudados, a isca de fezes humanas foi a que apresentou maior atratividade.

Esse estudo, além de contribuir com dados sobre a fauna desses besouros no estado, fornece informações que podem ser utilizadas em estudos futuros para monitoramento da Reserva (Rebio Gurupi), com relação ao seu estado de preservação, além da recuperação de áreas degradadas, que é importante para a conservação da biodiversidade e manutenção do solo, como é o caso da vegetação secundária utilizada no estudo.

Porém, há necessidade de mais estudos relacionados a este grupo de besouros (Scarabaeinae) nesta região, a realização de levantamentos com período superior, para obterem-se dados mais abrangentes a respeito do uso de Scarabaeinae como indicadores biológicos, além das funções ecológicas desempenhadas por eles e sobre a sazonalidade desses insetos, a fim de garantir um ponto de partida para pensar em estratégias e práticas de manejo e conservação.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. DA S. P.; LOUZADA, J.N. C. Estrutura da comunidade de Scarabaeinae (Scarabaeidae: Coleoptera) em fitofisionomias do Cerrado e sua importância para a conservação. **Neotropical entomology**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 32–43, 2009.
- ALVARES, C. A., J. L. STAPE, P. C. SENTELHAS, J. L. M. GONÇALVES, AND G. SPAROVEK. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorol. Z. v. 22: p. 711–728, 2014.
- ANDRESEN, E. Primary seed dispersal by red howler monkeys and the effect of defecation patterns on the fate of dispersed seeds. **Biotropica**, v. 34, n. 2, p. 261-272, 2002.
- ANDRESEN, E. Effects of season and vegetation type on community organization of dung beetles in a tropical dry forest. **Biotropica**, v. 37, p. 291-300, 2005.
- ANDRESEN, E. Short-term temporal variability in the abundance of tropical dung beetles. **Insect Conservation and Diversity**, v. 1, n. 2, p. 120-124, 2008.
- ARVOR, D.; DUBREUIL, V.; SIMÕES, M.; BÉGUÉ, A. Mapping and spatial analysis of the soybean agricultural frontier in Mato Grosso, Brazil, using remote sensing data. **GeoJournal**, v. 78, n. 5, p. 833–850, 2012.
- AUDINO, L. D.; SILVA, P. G.; NOGUEIRA, J. M.; MORAES, L. P.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) de um bosque de eucalipto introduzido em uma região originalmente campestre. **Iheringia, Série Zoologia**, v.101, n.1-2, p.121-126, 2011.
- BARETTA, D; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA-FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna Edáfica e Qualidade do Solo. **Tópicos Ci. Solo**, v. 7, p.119-170, 2011.
- BARLOW, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144-147, 2016. doi:10.1038/nature18326. Acessado em: 28 Jan. 2022
- BARNES, A.D.; WEIGELT, P.; JOCHUM, M.; OTT, D.; HODAPP, D.; HANEDA, N.; BROSE, U. Species richness and biomass explain spatial turnover in ecosystem functioning across tropical and temperate ecosystems. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 371, p. 1-8. 2016.
- BERENQUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T.A.; ARAGÃO, L.E.O.C.; DE CAMARGO, P.B.; CERRI, C.E.; DURIGAN, M.; OLIVEIRA, R.C.; VIEIRA, I.C.G.; BARLOW, J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 2005, p. 1-14, 2014.
- BERUDE, M. C.; GALOTE, J. K. B.; PINTO, P. H; AMARAL, A. A. A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer-Goiânia, v.11 n.22; p. 14, 2015.
- BICKNELL, J.E., PHELPS, S.P., DAVIES, R.G., MANN, D.J., STRUEBIG, M.J., DAVIES, Z.G. Dung beetles as indicators for rapid impact assessments: Evaluating best practice forestry in the neotropics. **Ecological Indicators**, v. 43, p. 154–161, 2014.
- BOGONI, J. A.; HERNÁNDEZ, I. M. Attractiveness of native mammal's faeces of different trophic guilds to dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). **Journal of Insect Science**, v. 14, p. 1-7, 2014.
- BOUCHARD, P.; BOUSQUET, Y.; DAVIES, A. E.; ALONSO-ZARAZAGA M. A.; LAWRENCE, J. F.; LYAL, C. H. C.; NEWTON, A. F.; REID, C. A. M.; SCHMITT, M.; SLIPINSKI, S. A.; SMITH, A. B. T. Family-group names in Coleoptera (Insecta). **ZooKeys**, v. 88, p. 1–972, 2011.
- BRAGA, R. F. **Efeitos da alteração do uso do solo na AMAZÔNIA brasileira sobre serviços ecológicos proporcionados pelos scarabaeinae (Coleoptera,**

- Scarabaeidae**). Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, p. 50, 2009.
- BROOK, B. W.; BRADSHAW, C. J. A.; KOH, L. P.; SODHI, N. S. Momentum drives the crash: mass extinction in the tropics. **Biotropica**, v. 38, p. 302-305, 2006. Disponível em: doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00141.x. Acessado em: 25 jul. 2020.
- BROOKS, T. M.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; KONSTANT, W. R.; FLICK, P.; PILGRIM, J.; OLDFIELD, S.; MAGIN, G.; HILTON-TAYLOR, C. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. **Conservation Biology**, v. 16, n. 4, p. 909-923, 2002.
- BROSE, U.; HILLEBRAND, H. Biodiversity and ecosystem functioning in dynamic landscapes. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 371, p. 1-9, 2016.
- BROWN, K.S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. **Journal of Insect Conservation**, Dordrecht, v. 1, n. 1, p. 25–42, 1997.
- BROWN, K. S. Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável de recursos naturais. In: MARTOS, H. L.; MAIA, N. B. (Ed.). **Indicadores ambientais**. 1. ed. Sorocaba: s.n., p. 143-151, 1997.
- BROWN, G. G.; FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; ROJAS, P.; PATRON, J. C.; BUENO, J.; MORENO, A. G.; LAVELLE, P.; ORDAZ, V.; RODRÍGUEZ, C. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. **Acta Zoológica Mexicana: Nueva Série**, Xalapa, n. especial, p. 79-110, 2001.
- BROWN, G. G.; DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas. **Acta Zoológica Mexicana: Nueva Série**, Xalapa, v. 26, p. 1-18, 2010.
- BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. A.; Nadolny, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; Silva, E.; Antonioli, Z. I.; Decaëns, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa, p. 122- 154, 2015.
- BÜCHS, W. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.98, p.35-78, 2003.
- CAJAIBA, R.L., PÉRICO, E., DALZOCHIO, M.S., SILVA, W.B., BASTOS, R., CABRAL, J.A. & SANTOS, M. Does the composition of Scarabaeidae (Coleoptera) communities reflect the extent of land use changes in the Brazilian Amazon? **Ecological Indicators**, v. 74, p. 285-294, 2017.
- CAJAIBA, R. L.; SILVA, W. B. Diversidade e sazonalidade de Cydnidae (Insecta: Hemiptera: Heteroptera) em diferentes habitat no estado do Pará, norte do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 15, n.1, p. 32-37, 2017.
- CAJAIBA, R. L.; DA SILVA, W. B.; PÉRICO, E. Diversity of Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae) in different landscapes in northern Brazil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 13, n. 1, p. 10-16, 2018.
- CAJAIBA, R.L.; PÉRICO, E.; SILVA, W.B.; VIEIRA, T.B.; DALZOCHIO, M.S.; BASTOS, R.; CABRAL, J.A.; SANTOS, M. How informative is the response of Ground Beetles' (Coleoptera: Carabidae) assemblages to anthropogenic land use changes? Insights for ecological status assessments from a case study in the Neotropics. **Science of the Total Environment**, v. 636, p. 1219-1227, 2018b.

- CAJAIBA, R.L.; PEREIRA, K.S.; MARTINS, J.S.C.; SOUSA, E.S.; SILVA, W.B. *Megasoma actaeon* (Linnaeus) (Scarabaeidae: Dynastinae): first record for Maranhão state, northeastern Brazil. **Scientia Amazonia**, p. 13-16, 2019. Disponível em: <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2018/12/v.8-n.1-CB13-CB16-2019.pdf>. Acessado em: 27 jul. 2020.
- CAMPOS, R.C.; HERNÁNDEZ, M.I.M. Changes in the dynamics of functional groups in communities of dung beetles in Atlantic forest fragments adjacent to transgenic maize crops. **Ecological Indicators**, v. 49, p. 216-227, 2015.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. São Paulo- Piracicaba, ESALQ, 2ª ed., p. 221, 2016. Disponível em: 10.11606/9788586481567. Acessado em: 27 jul. 2021.
- CELENTANO, D.; MIRANDA, M.V.C.; NEVES, E.; ROUSSEAU, G.X.; MUNIZ, F.H.; LOCH, V.C.; VARGA, I.D.; FREITAS, L.; ARAÚJO, P.; NARVAES, I.S.; ADAMI, M.; GOMES, A.R.; RODRIGUES, J.C.; KAHWAGE, C.; PINHEIRO, M.; MARTINS, M.B. Desmatamento, degradação e violência no -Mosaico Gurupi- - A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, p. 315-339, 2018.
- CHAO, A., COLWELL, R.K., LIN, C.W., GOTELLI, N.J. Sufficient sampling for asymptotic minimum species richness estimators. **Ecology**, v. 90, p. 1125–1133, 2009.
- CHAZDON L. R. et al. The Potential for species conservation in tropical secondary forests. **Conservation Biology**, v. 23, n. 6, p. 1406-1417, 2009. Disponível em: 10.1111/J.1523-1739.2009.01338.X. Acessado em: 27 jul. 2020.
- CHELI, G.H.; CORLEY, J.C. Efficient sampling of ground-dwelling arthropods using pitfall traps in arid steppes. **Neotropical Entomology**, v. 39, p. 912-917, 2010.
- CONDÉ, P. A. **Comunidade de Besouros Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em duas áreas de Mata Atlântica do Parque Municipal da Lagoa do Peri, Florianópolis-SC: Subsídios para o Biomonitoramento Ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso – Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, p. 41, 2008.
- CORREA, C. M. A., PUKER, A.; KORASAKI, V.; FERREIRA, K. R.; ABOT, A. R. The attractiveness of baits to dung beetles in Brazilian Cerrado and exotic pasturelands. **Entomological Science**, v. 19, p. 112–123, 2016a.
- CORREA, C. M. A., BRAGA, R. F., PUKER, A., ABOT, A. R., & KORASAKI, V. Optimising Methods for Dung Beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) Sampling in Brazilian Pastures. **Environmental Entomology**, v. 47, n. 1, p.48–54, 2017.
- CULOT, L., BOVY, E., VAZ-DE-MELLO, F.Z., GUEVARA, R. & GALETTI, M. Selective defaunation affects dung beetle communities in continuous Atlantic rainforest. **Biological Conservation**, v. 163, p. 79-89, 2013.
- DALE, V.H.; BEYLER, S.C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, v.1, n.1, p.3-10, 2001.
- DA SILVA, P.G.; HERNANDEZ, M.I.M. Spatial variation of dung beetle assemblages associated with forest structure in remnants of southern Brazilian Atlantic forest. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 60, p. 73-81, 2016.
- DAVIS, A. L. V.; SCHOLTZ, C. H. & CHOWN, S. L. Species turnover, community boundaries and biogeographical composition of dung beetle assemblages across an altitudinal gradient in South Africa. **Journal of Biogeography**, v. 26, p. 1039-1055, 1999.
- DAVIS AJ, HOLLOWAY JD, HUIJBREGTS H, KRIKKEN J, KIRK-SPRIGGS AH, SUTTON SL. Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. **Journal of Applied Ecology**, v. 38, p. 593-616, 2001.



- DAVIS, A. L. V.; PHILIPS, T. K. Effect of deforestation on a Southwest Ghana dung beetle assemblage (Coleoptera: Scarabaeidae) at the periphery of Ankasa conservation area. **Environmental Entomology**, v. 34, n. 5, p. 1081-1088, 2005.
- DAVIS, A.L.V.; PHILIPS, T.K. Regional fragmentation of rain forest in West Africa and its effect on local dung beetle assemblage structure. **Biotropica**, v. 41, p. 215-220, 2009.
- DE SOUZA, R.A.; MIZIARA, F.; DE MARCO JUNIOR, P. Spatial variation of deforestation rates in the Brazilian Amazon: A complex theater for agrarian technology, agrarian structure and governance by surveillance. **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 915–924, 2013.
- DIRZO, R.; YOUNG, H.S.; GALETTI, M.; CEBALLOS, G.; ISAAC, N.J.B.; COLLEN, B. Defaunation in the Anthropocene. **Science**, v. 345, p. 401-406, 2014.
- DUNN, R. R. Recovery of faunal communities during tropical forest regeneration. **Conservation Biology**, v. 8, n. 2, p. 302-309, 2004.
- DURÃES, R.; MARTINS, W.P.; VAZ-DE-MELLO, F.Z. Ecology, behavior and bionomics dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) assemblages across a natural forest-cerrado ecotone in Minas Gerais, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 1-11, 2005.
- ENDRES, A. A., CREÃO-DUARTE, A. J., HERNÁNDEZ, M. I. M. Diversidade de Scarabaeidae s. str. (Coleoptera) da Reserva Biológica Guaribas, Mamanguape, Paraíba, Brasil: uma comparação entre Mata Atlântica e Tabuleiro Nordeste. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 51, p. 67-71, 2007.
- ESCOBAR, F.; HALFFTER, G. & ARELLANO, L. From forest to pasture: an evaluation of the influence of environment and biogeography on the structure of dung beetle (Scarabaeinae) assemblages along three altitudinal gradients in the Neotropical region. **Ecography**, v. 30, p. 193-208, 2007.
- FILGUEIRAS, B.K.C., TABARELLI, M., LEAL, I.R., VAZ-DE-MELLO, F.Z., IANNUZZI, L. Dung beetle persistence in human-modified landscapes: combining indicator species with anthropogenic land use and fragmentation-related effects. **Ecological Indicator**, v. 55, p. 65–73, 2015.
- FILGUEIRAS, B. K. C., LIBERAL, C. N., AGUIAR, C. D. M., HERNÁNDEZ, M. I. M., IANNUZZI, L. Attractivity of omnivore, carnivore and herbivore mammalian dung to Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) in a tropical Atlantic rainforest remnant. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, p. 422-427, 2009.
- FOLEY, J.A.; ASNER, G.P.; COSTA, M.H.; COE, M.T.; DEFRIES, R.; GIBBS, H.K.; HOWARD, E.A.; OLSON, S.; PATZ, J.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n.1, p. 25-32, 2007.
- FRANÇA, F.M. **Ecological impacts of selective logging in the Amazon: lessons from dung beetles**. PhD Thesis. Postgraduate Program in Applied Ecology, Lavras, Brazil. Dua PhD with Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster, United Kingdom. 2015.
- FRAZER, G., CANHAM, C., LERTZMAN, K. **Gap Light Analyzer (GLA): imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs**. Users Manual and Program Documentation, 1999.
- GARDNER, T. A.; HERNÁNDEZ, M. I. M.; BARLOW, J.; PERES, C. A. Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 45, p. 883-893, 2008.

- GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; ARAUJO, I. S.; ÁVILA-PIRES, T. C.; BONALDO, A. B.; COSTA, J. E.; ESPOSITO, M.C.; FERREIRA, L.V.; HAWES, J.; HERNANDEZ, M.I.M.; HOOGMOED, M.S.; LEITE, R.N.; LO-MAN-HUNG, N.; MALCOLM, J.R.; MARTINS, M.B.; MESTRE, L.A.M.; MIRANDA-SANTOS, R.; OVERAL, W.L.; PARRY, L.; PETERS, S.L.; RIBEIRO-JUNIOR, A.A.; SILVA, M.N.F.; MOTTA, C.S.; PERES, C.A. The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. *Ecology letters*, v. 11, n. 2, p. 139-150, 2008.
- GARDNER, T. A.; HERNÁNDEZ, M. I. M.; BARLOW, J.; PERES, C. A. Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for Neotropical dung beetles. *Journal of Applied Ecology*, v. 45, p. 883-893, 2008b.
- GEERAERT, L. **Effects of anthropogenic disturbances on ground beetle (Coleoptera, Carabidae) communities in Afromontane forests: a comparison between habitats with different levels of disturbance in Amani Nature Reserve, Tanzania.** Master Thesis. Norwegian University of Life Sciences. 2014.
- GHANNEM, S.; TOUAYLIA, S.; BOUMAIZA, M. Beetles (Insecta: Coleoptera) as bioindicators of the assessment of environmental pollution. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, v. 24, p. 456-464, 2018.
- GIBSON, L.; LEE, T.M.; KOH, L.P.; BROOK, B.W.; GARDNER, T.A.; BARLOW, J.; PERES, C.A.; BRADSHAW, C.J.A.; LAURANCE, W.F.; LOVEJOY, T.E.; SODHI, N.S. Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*, v. 478, p. 378-381, 2011.
- GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems.** 2. ed. Wallingford, UK: CABI International, p. 423, 1997.
- GILL, B. D. Dung beetle in Tropical American Forest, p. 211-229. In: HANSKI, I. & CAMBEFORT, Y. (eds.). **Dung beetle ecology.** Princeton: Princeton University Press. p. 481, 1991.
- GONZÁLEZ-MEGÍAS, A., GÓMEZ, J.M., SÁNCHEZ-PIÑERO, F. Spatio-temporal change in the relationship between habitat heterogeneity and species diversity. *Acta Oecologica*, v. 37, p. 179–186, 2011.
- GOTELLI, N.J., ELLISON, J.A., DUNN, R.R. & SANDERS, N.J. ‘Counting ants (Hymenoptera: Formicidae): Biodiversity sampling and statistical analysis for myrmecologists’, *Myrmecological News*, v. 15, p. 13–19, 2014.
- GRAHAM M. H. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*, v. 84, p. 2809–15, 2003.
- HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). *Folia Entomológica Mexicana*, Mexico D.F, v. 12, n.14, p.1-312, 1966.
- HALFFTER, G.; EDMONDS, W. D. The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae). *An Ecological and Evolutive Approach.* Xalapa, México, D.F: Instituto de Ecología. p. 173-176, 1982.
- HALFFTER, G. Historical and ecological factors determining the geographical distribution of beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Folia Entomológica Mexicana*, v. 82, p. 195-238, 1991.
- HALFFTER, G., M. E. FAVILA, G. M. E., HALFFTER, V. A comparative study of the structure of the scarab guild in Mexican tropical rain forests and derived ecosystems. *Folia Entomológica Mexicana*, v. 84, p. 131–156, 1992.

- HALFFTER, G.; ARELLANO, L. Response of Dung Beetle Diversity to Human-induced Changes in a Tropical Landscape1. **Biotropica**, Washington, v. 34, n. 1, p. 144–154, 2002.
- HANSKI, I. & CAMBEFORT, Y. Competition in dung beetles, p. 305-329. In: HANSKI, I. & CAMBEFORT, Y. (eds.). **Dung beetle ecology**. Princeton: Princeton University Press. p. 481, 1991.
- HERNÁNDEZ, M. I. M. & VAZ-DE-MELLO, F. Z. Seasonal and spatial species richness variation of dung beetle (Coleoptera, Scarabaeidae s. str.) in the Atlantic Forest of southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 4, p. 607-613, 2009.
- HERNÁNDEZ, M. I. M.; BARRETO, P. S. C. S.; COSTA, V. H.; CREÃO-DUARTE, A. J.; FAVILA, M. E. **Response of a dung beetle assemblage along a reforestation gradient in Restinga forest**. **Journal of Insect Conservation**, Berlin, 2014.
- HERNÁNDEZ-GARCÍA, L.M.; BURGOS-GUERRERO, J.E.; SANTOS, B.T.S.; JAMES, S.W. Three new species of *Holoscolex* (Clitellata, Glossoscolecidae) from the Gurupi Biological Reserve, last forest remnant of the Belém Endemism Area, Eastern Amazon. **Zootaxa**, v. 4496, p. 459–471, 2018.
- HOLT, E.A.; MILLER, S.W. Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. **Nature Education Knowledge**, v. 3, n. 10, p. 8, 2010.
- HOPKINS, M. J. G. Modelling the known and unknown plant biodiversity of the Amazon Basin. In **Journal of Biogeography**, v.34, n.8, p. 1400–1411, 2007. Disponível em: 10.1111/j.1365-2699.2007.01737.x. Acessado em: 28 jul. 2020.
- IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População estimada**: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Terraclass 2004 a 2014: **Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra no período de 10 anos nas áreas desflorestadas da Amazônia legal Brasileira**. Belém, PA; 2016.
- JOUQUET, P.; DAUBER, J.; LAGERLÖF, J.; LAVELLE, P. & LEPAGE, M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. **Applied Soil Ecology**, v. 32, p. 153-164, 2006.
- KIMBERLING, D. N.; KARR, J. R.; FORE, L. S. Measuring human disturbance using terrestrial invertebrates in the shrub-steppe of eastern Washington (USA). **Ecological Indicators**, v. 1 n. 2, p. 63-81, 2001.
- KIM, D.; SEXTON, J.O.; TOWNSHEND, J.R. Accelerated deforestation in the humid tropics from the 1990s to the 2000s. **Geophysical Research Letters**, v. 42, p. 3495-3501, 2015.
- KLEIN, B. C. Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. **Ecology**, New York, v. 70, n.6, p. 1715-1725, 1989.
- KNOEPP, J.D.; COLEMAN, D.C.; CROSSEY Jr., D.A; CLARK, J.S. Biological indices of Soil quality: an ecosystem case study of their use. **Forest Ecology and Management**, v.138, p.357-368, 2000.
- KOHLMANN, B. Dung beetles in subtropical North America, p. 116-132. HANSKI, I. & CAMBEFORT, Y. (eds.). **Dung beetle ecology**. Princeton: Princeton University Press, p. 481, 1991.

- KORASAKI, V.; BRAGA, R. F.; ZANETTI, R.; MOREIRA, F. M. S.; VAZ-DE MELLO, F. V.; LOUZADA, J. Conservation value of alternative land-use systems for dung beetles in Amazon: valuing traditional farming practices. **Biodiversity and Conservation**, Madrid, v. 22, p. 1485-1499, 2013.
- LAURANCE, W.F. Forest-climate interactions in fragmented tropical Landscapes. **Philosophical Transactions of The Royal Society**, v. 159, p. 345-352, 2004.
- LAURANCE, W.F.; CAMARGO, J.L.C.; LUIZÃO, R.C.C.; LAURANCE, S.G.; PIMM, S.L.; BRUNA, E.M.; et al. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, p. 56-67, 2011.
- LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; GHILLION, S. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 33, p. 159-193, 1997.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S3-S15, 2006.
- LENNOX, G. D. et al. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5680-5694, 2018. doi: 10.1111/gcb.14443. Acessado em: 28 jul. 2020.
- LIMA, A.A. de; LIMA, W.L. de; BERBARA, R.L.L. **Diversidade da mesofauna de solo em sistemas de produção agroecológica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, p. 1, 2003.
- LIMA, J. D. N.; SILVA, V. C.; BIANCHI, V.; SILVA, P. G.; DI MARE, R. A. Estrutura e organização de assembleias de Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) em diferentes fitofisionomias no sul do Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 105, n. 4, p. 393-402, 2015.
- LIMA, J. S.; CAJAIBA, R. L.; MARTINS, J. S. C.; PEREIRA, K. S.; SOUSA, E. S. Educação ambiental em resíduos sólidos em escolas no município de Buriticupu-MA. **Scientia Amazonia**, v. 7, p. 122-127, 2018. Disponível em: <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2017/06/v6-n3-11-04-2019.pdf>. Acessado em: 28 jul. 2020.
- LOUZADA, J. N. C., & LOPES, F. S. A comunidade de Scarabaeidae copro-necrófagos (Coleoptera) de um fragmento de Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 41, p. 117-121, 1997.
- LOUZADA, J. Scarabaeidae (Coleoptera -Scarabaeidae) detritívoros em ecossistemas tropicais: diversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F M S, SIQUEIRA, J O; BRUSAARD, L (Org.). Biodiversidade de solos em ecossistemas brasileiros. Lavras: Editora UFLA, p. 299-322. 2008.
- LOUZADA, J.; LIMA, A.P.; MATAVELLI, R.; ZAMBALDI, L.; BARLOW, J. Community structure of dung beetles in Amazonian savannas: role of fire disturbance, vegetation and landscape structure. **Landscape ecology**, v. 25, p. 631-641, 2010.
- LIU, J., LI, F., SUN, T., MA, L., LIU, L., YANG, K. Interactive effects of vegetation and soil determine the composition and diversity of carabid and tenebrionid functional groups in an arid ecosystem. **J. Arid Environ**, v. 128, p. 80–90, 2016.
- LÖVEI, G.L., MAGURA, T., TÓTHMÉRÉSZ, B., KÖDÖBÖCZ, V. The influence of matrix and edges on species richness patterns of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in habitat islands. **Glob. Ecol. Biogeogr**, v. 15, p. 283–289, 2006.
- MACEDO, M.N.; DEFRIES, R.S.; MORTON, D.C.; STICKLER, C.M.; GALFORD, G.L.; SHIMABUKURO, Y.E. Decoupling of deforestation and soy production in the

- southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 4, p. 1341–6, 2012.
- MAGURA, S.; CLELAND, C. M.; TONIGAN J. S. Evaluating Alcoholics Anonymous's Effect on Drinking in Project MATCH Using Cross-Lagged Regression Panel Analysis. **Journal of Studies on Alcohol Drugs**, v. 74, n. 3, p. 378-85, 2013. Disponível em: 10.15288/jsad.2013.74.378. Acessado em: 28 Jan. 2021
- MALHADO, A. C. M.; LADLE, R.; WHITTAKER, R.; NETO, A.; MALHI, Y.; STEEGE, H. The ecological biogeography of Amazonia. **Frontiers of Biogeography**, v.5, n. 2, 2013.
- MALUCHE, C.R.D.; SANTOS, J.C.P.; SINHORATI, D.; AMARENTE, C.V.T.; BARETTA, D. **Fauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo em pomares de macieiras conduzidos nos sistemas orgânico e convencional**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, p. 1, 2003.
- MEDRI, I. M.; LOPES, J. Scarabaeidae (Coleoptera) do Parque Estadual Mata dos Godoy e de área de pastagem, no norte do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 135-141, 2001.
- MEDRI, P. S.; FERRACIN, T. P.; SILVA, V. T.; TOREZAN, J. M. D.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E. Comparação de parâmetros bióticos e abióticos entre fragmento de floresta secundária e reflorestamento de Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 30, n. 2, p. 185-194, 2009.
- MELO, F. V. de; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W. de; ZANETTI, R. A. **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores**. Boletim Informativo da SBCS, 2009.
- MORAIS, J. W.; FRANKLIN, E. C. **Mesofauna do solo na Amazônia Central**. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras: Ed. da UFLA, p. 142-162, 2008.
- MOURA, W. C. et al. **A Reserva Biológica do Gurupi como instrumento de conservação da natureza na Amazônia Oriental**. In: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. (Org.) Amazônia maranhense: diversidade e conservação. Belém: MPEG, p. 24-31, 2011.
- NEWBOLD, T.; HUDSON, L. N.; HILL, S. L. L.; CONTU, S.; GRAY, C. L.; SCHARLEMANN, J. P. W.; BÖRGER, L.; PHILLIPS, H. R. P.; SHEIL, D.; LYSENKO, I.; PURVIS, A. Global patterns of terrestrial assemblage turnover within and among land uses. **Ecography**, v. 39, p. 001-013, 2016.
- NICASIO, K. L.; SANTOS, F. M. B.; SILVA, K. M. A.; MARTINS, J. S. C.; CAJAIBA L. R. Avaliação ambiental de lagoas naturais e artificiais no município de Buriticupu, MA. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 16, n. 29, p. 1774. 2019.
- NICHOLS, E.; SPECTOR, S.; LOUZADA, J.; LARSEN, T.; AMEZQUITA, S.; FAVILA, M. E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, p. 1461-1474, 2008.
- NICHOLS, E.; GARDNER, T.A.; PERES, C.A.; SPECTOR, S. Co-declining mammals and dung beetles: an impending ecological cascade. **Oikos**, v. 118, p. 481-487, 2009.
- NIERO, M. M.; HERNÁNDEZ, M. I.M. Influência da paisagem nas assembleias de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em um ambiente agrícola no sul de Santa Catarina. **Biotemas**, v. 30, n. 3, p. 37-48, 2017.
- NOVOTNY, V.; DROZD, P.; MILLER, S.E.; KULFAN, M.; JANDA, M.; BASSET, Y.; WEIBLEN, G.D. Why Are There So Many Species of Herbivorous Insects in Tropical Rainforests? **Science**, v. 313, p. 1115-1118, 2006.

- OLIVEIRA, M. A.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. S.; Terezinha Lucia, M. C. D. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 800-807, 2014.
- PEREIRA, S. N. C. Payment for Environmental Services in the Amazon Forest: How Can Conservation and Development Be Reconciled? **The Journal of Environment & Development**, v.19, n.2, p.171-190, 2010. Disponível em: 10.1177/1070496510368047. Acessado em: 28 Jan. 2022
- PRICE P.W. **Insect Ecology**. 2aed. New York, John Wiley & Sons. p. 607, 1984.
- RAFAEL, J. A. **A amostragem. Protocolo e técnicas de captura de Díptera**. Zaragoza: PRIBES. Ed. 2, p. 301-304), 2002.
- REBIO. PLANO DE MANEJO –**Reserva Biológica do Gurupi**. Brasília: ICMBio, p. 285, 1999. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao>>. Acessado em: 28 jul. 2020
- RICH, P.M. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, n. 1, p. 13-29, 1990.
- R-CORE-TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: <https://www.r-project.org/>
- SANTOS, M., CABRAL, J.A. Development of a stochastic dynamic model for ecological indicators' prediction in changed Mediterranean agroecosystems of north-eastern Portugal. **Ecological Indicators**, v. 3, p. 285–303, 2004.
- SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L.; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C. C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1466-1475, 2016.
- SANTOS, R. S.; SOUZA, C. S.; RUFINO, C. P. B. Escarabeídeos (Coleoptera: Scarabaeidae) coletados em armadilhas pitfall em um remanescente florestal no município de Plácido de Castro, AC. **Agrotropica**, v. 31, n. 3, p. 219-224, 2019.
- SCHOLTZ, C. H.; CHOWN, S. L. The evolution of habitat use and diet in the Scarabaeoidea: a phylogenetic approach. In: PAKALUK, J; LIPINSKI, S.A.S. (org.). **Biology, phylogeny, and classification of Coleoptera**. Warsaw: **Museum i Instytut Zoologii PAN**, p. 355–374, 1995.
- SCHOOLMEESTERS, P.; DAVIS, A. L. V.; EDMONDS, W. D.; GILL, B.; MANN, D.; MORETTO, P.; PRICE, D.; REID, C.; SPECTOR, S.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. **Scarab Net's Global Taxon Database**. Version 1.5, 2010. Disponível em: <http://216.73.243.70/scarabnet/results.htm>. Acessado em: 01 set. 2021.
- SILVA, R.J.; DINIZ, S.; VAZ-DE-MELLO, F.Z. Heterogeneidade do habitat, riqueza e estrutura da assembléia de besouros rola-bostas (Scarabaeidae: Scarabaeinae) em áreas de cerrado na Chapada dos Parecis, MT. **Neotropical Entomology**, v. 39, p. 934-940, 2010.
- SILVA, P. G. Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) of Two Non- Native Habitats in Bagé, Rio Grande do Sul, Brazil. **Zoological Studies**, Taipei. v. 50, n. 5, p. 546- 559, 2011.
- SILVA, P. G., DI MARE, R. A. Escarabeíneos copro-necrófagos (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae) de fragmentos de Mata Atlântica em Silveira Martins, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 102, p. 197-205, 2012.
- SILVA, P. G., AUDINO, L. D., NOGUEIRA, J. M., MORAES, L. P., VAZ-DE-MELLO, F. Z. Escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) de uma área de campo

- nativo no bioma Pampa, Rio Grande do Sul, **Brasil. Biota Neotropica**, v. 12, p. 246-253, 2012a.
- SILVA, P. G., VAZ-DE-MELLO F. Z., DI MARE, R. A. **Diversity and seasonality of Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) in forest fragments in Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 85, p. 79-697, 2013.
- SILVA, R. J.; COLETTI, F.; COSTA, D. A.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. Rola-bostas (Coleoptera: Scarabaeidae:Scarabaeinae) de florestas e pastagens no sudoeste da Amazônia brasileira: Levantamento de espécies e guildas alimentares. **Acta Amazônica**, v. 44, p. 345-352, 2014.
- SILVA, R. J. **Aspectos da diversidade de besouros rola-bostas (Scarabaeidae: Scarabaeinae) do sudoeste de MatoGrosso:biogeografia e efeitos da fragmentação e modificações do habitat.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Grande Dourados, p. 21, 2015.
- SILVA, P. G.; LOBO, J. M.; HERNANDEZ, M. I. M. The role of habitat and daily activity patterns in explaining the diversity of mountain Neotropical dung beetle assemblages. **Austral Ecology**, v. 44, p. 300–312, 2019.
- SILVEIRA, S.N.; MONTEIRO, R.C.; ZUCCHI, R.A.; MORAES, R.C.B.de; Uso da análise faunística de insetos na avaliação do impacto ambiental. **Science agricultural**, v.52, n.1, p. 9-15, 1995.
- SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA , R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v.440, n.7083, p.520–523, 2006. Disponível em: 10.1038/nature04389. Acessado em: 28 jul. 2020.
- SOLAR, R. R. C. et al. How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? **Ecology Letters**, v. 18, n. 10, p. 1108-1118, 2015. Disponível em: 10.1111/ele.12494. Acessado em: 28 Jan. 2022
- SOLAR, R.R.C.; BARLOW, J.; ANDERSEN, A.N.; SCHOEREDER, J.H.; BERENQUER, E.; FERREIRA, J.N.; GARDNER, T.A. Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communities. **Biological Conservation**, v. 197, p. 98-107, 2016.
- SOUZA, M. S.; SALMAN, A. K. D.; ANJOS, M. R.; SAUSEN, D.; PEDERSOLI, M. A.; PEDERSOLI, N. R. N. B. Serviços ecológicos de insetos e outros artrópodes em sistemas agroflorestais. **Revista EDUCAmazônia**, v. XX, n. 1, p. 22-35, 2018.
- SOWIG, P. Habitat selection and offspring survival rate in three paracoprid dung beetles: the influence of soil type and soil moisture. **Ecography**, v. 18, p. 147-154, 1995.
- SUSILO, F. X.; NEUTAL, A. M.; VAN NOORDWIJK, M.; HAIRIAH, K.; BROWN, G.; SWIFT, M. J. Soil biodiversity and food webs. In: VAN NOORDWIJK, M.; CADISCH, G.; ONG,C. K. (Ed.). **Below-ground interactions in tropical agroecosys-tems: concept and models with multiple plant components.** Wallingford: CAB International Publishing, p. 285-308, 2004.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems.** Oxford, Blackwell, p.372, 1979.
- TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.; GASCON, C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1419-1425, 2004.

- TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação: aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 181-188, 2005.
- TARASOV, S.; GÉNIER, F. Innovative Bayesian and parsimony phylogeny of dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae) enhanced by ontology-based partitioning of morphological characters. *PLoS One*, v. 10, n. 3, p. e0116671, 2015.
- TER BRAAK, C. J. F.; VERDONSCHOT, P. F. M. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. **Aquatic Sciences**, 57, p. 255-289. 1995.
- THOMAZINI, M.J.; THOMAZINI, A.P.B.W. **A fragmentação florestal e a diversidade de insetos nas florestas tropicais úmidas**. Embrapa Acre. Documentos, v. 57, p. 21, 2000.
- TIEDE, Y.; SCHLAUTMANN, J.; DONOSO, D.; WALLIS, C.; BENDIX, J.; BRANDLD, R.; FARWIG, N. Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. **Ecological Indicators**, v. 83, p. 527-537, 2017.
- TOYOTA, A.; KANEKO, N.; ITO, M. T. Soil ecosystem engineering by the train millipede *Parafontaria laminata* in a Japanese larch forest. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, p. 1840-1850, 2006.
- VAZ-DE-MELLO, F.Z. Estado atual de conhecimento dos Scarabaeidae. str.(Coleoptera: Scarabaeoidea) do Brasil. **Monografias Tercer Milenio**, Zaragoza, v. 1, p.183–195, 2000.
- VAZ-DE-MELLO, F.Z. Scarabaeidae in **Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD, 2022. Disponível em:<<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/127498>>. Acessado em: 28 Jan. 2022
- VIEGAS, G.; STENERT, C.; SCHULZ, U.H.; MALTCHIK, L. Dung beetle communities as biological indicators of riparian forest widths in southern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 703-710, 2014.
- WINK, C.; GUEDES, C.J.V.; FAGUNDES, K.C.; ROVEDDER, A.P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n. 1, p. 60–71, 2005.
- WRIGHT, S. J.; MULLER-LANDAU, H. C. The future of tropical forest species. **Biotropica**, v. 38, n. 3, p. 287-301, 2006.



**APÊNDICE**

### APÊNDICE A- Material Suplementar

**Tabela S1.** Resumo da Análise de Redundância para a comunidade de Scarabaeinae coletada nas diferentes áreas da Amazônia Maranhense. Temperatura (T); Umidade (H); Diâmetro à Altura do Peito (DAP); Cobertura do Dossel (CD); Número de Espécies de Plantas (NEP); Altura da Serapilheira (AS), Porcentagem de Solo Exposto (PSE); Número de Plantas (NP).

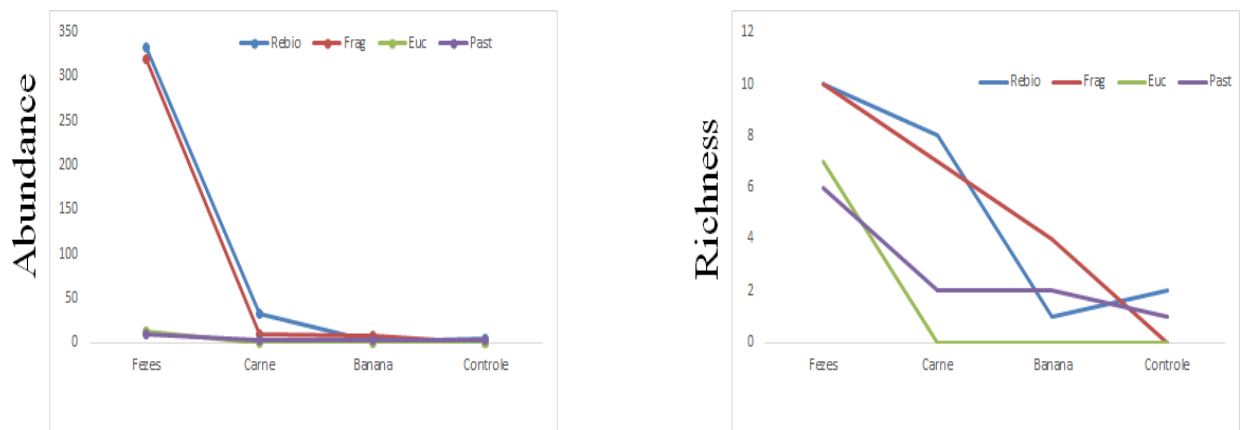
Variável ambiental	Eixo 1	Eixo 2
T	0,70835	0,284987
H	-0,733429	-0,192899
DAP	-0,652922	-0,59112
CD	-0,658854	-0,201896
NEP	-0,861263	-0,251722
AS	-0,351174	-0,170275
PSE	0,394369	0,413981
NP	-0,396021	-0,00133117
Resumo estatístico dos eixos 1 e 2		
Varição explicada	37,98%	27,02%

**Tabela S2.** Atratividade de besouros Scarabaeinae observada na armadilha de queda (tipo *pitfall*) com isca de fezes e carne.

Espécie	Fezes	Carne	Banana	Controle
<i>Ateuchus pygidialis</i>	34	-	-	-
<i>Ateuchus robustus</i>	9	-	-	-
<i>Ateuchus</i> sp1	28	-	-	-
<i>Ateuchus</i> sp2	1	-	-	-
<i>Ateuchus</i> sp3	51	-	13	-
<i>Canthidium deyrollei</i>	69	53	6	-
<i>Canthidium</i> sp1	3	-	-	-
<i>Canthidium</i> sp2	28	-	-	-
<i>Canthidium</i> sp3	1	-	-	-

<i>Canthidium</i> sp4	70	-	-	-
<i>Canthon chalybaeus</i>	3	18	5	-
<i>Canthon fulgidus</i>	90	-	-	-
<i>Canthon triangularis</i>	10	6	-	-
<i>Canthon</i> sp1	98	-	-	19
<i>Canthon</i> sp2	3	1	-	6
<i>Canthon</i> sp3	38	-	-	-
<i>Canthon</i> sp4	2	-	-	-
<i>Deltochilum submetallicum</i>	-	4	-	6
<i>Deltochilum</i> sp1	9	7	-	-
<i>Deltochilum</i> sp2	4	-	-	-
<i>Deltochilum</i> sp3	4	-	-	-
<i>Dichotomius</i> sp1	110	-	-	-
<i>Dichotomius</i> sp2	54	48	-	-
<i>Eurysternus wittmerorum</i>	10	9	-	3
<i>Eurysternus</i> sp1	86	78	13	6
<i>Eurysternus</i> sp2	56	-	-	-
<i>Eurysternus</i> sp3	8	-	-	-
<i>Ontherus</i> sp1	92	-	-	-
<i>Ontherus</i> sp2	10	-	-	-
<i>Ontherus</i> sp3	-	-	-	2
<i>Oxysternon</i> sp	7	-	-	-

<i>Oxysternon</i> sp2	-	1	-	-
<i>Oxysternon</i> sp3	69	-	-	-
<i>Uroxys</i> sp	5	10	2	-
<b>Abundância</b>	1.062	235	39	42
<b>Riqueza</b>	31	11	5	6



**Figura S1.** Abundância e riqueza de espécies de Scarabaeinae utilizando diferentes tipos de iscas nos diferentes ambientes avaliados.