



NAYARA LETÍCIA REIS

**INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES PÓS-QUEIMADA SOBRE O
COMPORTAMENTO E A REALIZAÇÃO DAS FUNÇÕES
ECOLÓGICAS EM BESOUROS ESCARABEÍNEOS
(COLEOPTERA: SCARABAEINAE)**

**LAVRAS-MG
2019**

NAYARA LETÍCIA REIS

**INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES PÓS-QUEIMADA SOBRE O COMPORTAMENTO
E A REALIZAÇÃO DAS FUNÇÕES ECOLÓGICAS EM BESOUROS
ESCARABEÍNEOS (COLEOPTERA: SCARABAEINAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof.^o Dr. Júlio Neil Cassa Louzada

Coorientadores

Prof.^a Dr. Maria Fernanda Gomes Vilalba Peñaflor

Dr. Wallace Beiroz Imbrósio da Silva

**LAVRAS-MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio (a) autor (a).

Reis, Nayara Letícia.

Influência de condições pós-queimada sobre o comportamento e a realização das funções ecológicas em besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeinae) / Nayara Letícia Reis. - 2019.

79 p. : il.

Orientador (a): Júlio Neil Cassa Louzada.

Coorientador (a): Maria Fernanda Gomes Vilalba Peñaflor, Wallace Beiroz Imbrósio da Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Efeitos do fogo. 2. Besouros escarabeíneos. 3. Comportamento de forrageio e funções ecológicas. I. Neil Cassa Louzada, Júlio. II. Gomes Vilalba Peñaflor, Maria Fernanda. III.

NAYARA LETÍCIA REIS

**INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES PÓS-QUEIMADA SOBRE O COMPORTAMENTO
E A REALIZAÇÃO DAS FUNÇÕES ECOLÓGICAS EM BESOUROS
ESCARABEÍNEOS (COLEOPTERA: SCARABAEINAE)**

**POST-FIRE CONDITIONS INFLUENCE ON DUNG BEETLES (COLEOPTERA:
SCARABAEINAE) BEHAVIOUR AND PERFORMANCE OF ECOLOGICAL
FUNCTIONS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 21 de fevereiro de 2019
Dr. Livia Dorneles Audino UFLA
Dr. Pedro Giovâni da Silva UFMG

Orientador
Prof.^o Dr. Júlio Neil Cassa Louzada
Coorientadores
Prof.^a Dr. Maria Fernanda Gomes Vilalba Peñafior
Dr. Wallace Beiroz Imbrósio da Silva

**LAVRAS-MG
2019**

*À minha Mãe, minha maior inspiração e meu exemplo de amor e força,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

A todos os meus familiares, em especial a minha Mãe e ao meu Irmão, por me apoiarem desde o início da minha carreira acadêmica, por me carregarem nos braços nos momentos difíceis e também por vibrarem muito comigo nos momentos de felicidade, Muito obrigada, amo vocês!

Ao meu amado Pai (*in memoriam*) que não estará mais presente nos momentos importantes da minha caminhada, mas que carregarei comigo em meu coração para sempre, te amo.

Ao meu querido orientador Dr^o. Júlio Louzada, por me receber tão bem no laboratório e por acreditar nas minhas viagens e nessa vontade louca de trabalhar com “Ecologia do Fogo no Cerrado”. Muito obrigada por todos os ensinamentos ao longo desta etapa!

À querida e grande amiga Letícia Vieira, pelo carinho ao longo desses anos e por acreditar em mim desde o começo do processo, isto foi fundamental para que eu persistisse na busca pelos meus sonhos, muito obrigada! Te adoro!

À minha queridíssima coorientadora Dr^a. Maria Fernanda, que me acolheu e topou essa parceria entre besouros Rola-bosta, Olfatometria, voláteis e etc. Muito obrigada por tudo e tenha certeza de que você foi muito importante neste processo.

Ao meu coorientador e amigo Dr^o. Wallace Beiroz pelos conselhos ao longo da caminhada e por tornar o processo da análise de dados mais leve e divertido. Muito Obrigada!

À prof. Dr^a Ronara e à colega rolabosteira Raquel, por compartilharem suas experiências comigo, isto foi fundamental para a execução dos experimentos de criação dos besouros e para que eu lidasse melhor com os problemas que surgiram ao longo do caminho. Muito obrigada!

Ao taxonomista Dr^o Fernando Z. Vaz de Mello pela ajuda na identificação dos besouros coletados. Muito obrigada!

À uma pessoa incrível que nos deixou sem avisar e sem se despedir, Angelão (*in memoriam*), obrigada por nos ajudar com a tão famosa Bayesiana!

Aos amigos de São João Del-Rei, Kênia e Gaúcho, pela parceria ao longo desses anos, pelas cervejas, festas e catuabas que nos ajudam a tornar o processo mais leve e prazeroso.

As colegas de república Nathi e Gabi pela amizade, paciência e companheirismo. Obrigada!

Aos amigos: Thiagão, Gaúcho, Luiz, Marcos, Rafael, Leopoldo, Lívia, Taís, Kátia, Larissa e Julius que participaram do desenvolvimento deste trabalho, ajudando nas coletas de campo. Vocês foram persistentes e não me deixaram desistir até mesmo quando voltávamos do campo sem um único besouro coletado ou quando perdíamos as armadilhas por pisoteio de gado, muito obrigada!

Aos que contribuíram com os experimentos em laboratório em especial ao Baby Cubano, a Yoyana e a Belinha que mesmo dentro da barriga da mamãe encarou a cheirosa sala de criação, muito obrigada! Ah, e claro não podia deixar de agradecer imensamente a minha estagiária Kátia que não me deixou desistir, me dando força e compartilhando sua paciência e persistência comigo. Muito obrigada!

A todos os amigos do LECIN o meu muito obrigada! Obrigada pelos momentos felizes e por me suportarem no início do mestrado quando “surtei” achando que nada daria certo. Saibam que vocês são minha segunda família e que amo muito todos vocês.

À minha amiga Rafa, por me ensinar a ser mais paciente, afinal já dizia Ney: “Se der certo beleza, se não der, paciência”.

À minha irmãzinha gêmea Taís Araújo, que já é parte de mim e conquistou meu carinho, minha confiança e meu amor, obrigada por me ajudar ao longo desta caminhada. Te adoro Paquitona!

À minha rainha e gatinha Lívia, que é inspiração para todos do laboratório e que mesmo com seu dark amor me conquistou. Muito obrigada por tudo!

Ao André, que é uma pessoa incrível, inteligentíssimo e que me ensinou muita coisa, sou muito grata por ter passado momentos de grande aprendizado e diversão ao seu lado, muito obrigada por tudo! Só tenho que admitir uma coisa amigo, carisma igual ao seu, não existe!

Ao César por me irritar todos os dias e horas possíveis dentro do laboratório, mas que mesmo me irritando, ainda sim é uma pessoa que gosto muito! Obrigada por tudo!

Aos amigos do “LESA” (se é que ele existe mesmo), especialmente ao Leopoldo que é completamente doido, mas é gente boa demais e sabe resolver qualquer tipo de problema. Obrigada Popôncio!

Aos amigos rolezeiros: Marcos, Tamires, Larissa, “Kênia Lacração”, Tiago, etc... pelos momentos mais insanos e loucos que vivi e sobrevivi com vocês. Muito obrigada!

À Ellen, nosso anjo da guarda. Muito obrigada por tudo!

À turma do café das 15h que envolve os demais laboratórios da Ecologia, obrigada pelos momentos prazerosos.

Ao grupo de estudos NEENTO, da qual fiz e faço parte e que me proporciona momentos de grande aprendizado e de novas descobertas. Muito obrigada!

Aos besouros que morreram ao longo da execução deste trabalho, tornando-o possível, muito obrigada!

À Universidade Federal de Lavras - UFLA pelo apoio técnico.

Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada pela oportunidade.

À FAPEMIG pela bolsa concedida. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”
(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

O fogo é um distúrbio natural ecologicamente e evolutivamente importante para o ecossistema do Cerrado. Devido à relação histórico-evolutiva entre o fogo e o Cerrado, a flora e fauna desse ambiente têm sido consideradas resilientes e/ou resistentes a esse distúrbio. Os besouros escarabeíneos são componentes faunísticos importantes do Cerrado e parecem ser bastante resilientes ao fogo desse ambiente. No entanto, apesar dos avanços sobre a resposta dos escarabeíneos às queimadas, ainda existem muitas lacunas sobre os efeitos desse distúrbio no comportamento e na sobrevivência pós-fogo desses organismos. Dessa forma, este estudo teve por objetivo avaliar o efeito de condições pós-queimada sobre o comportamento de forrageio e a realização das funções ecológicas em besouros escarabeíneos de Cerrado. No capítulo I, foram avaliadas: a influência de cinzas sobre a concentração de compostos voláteis emitidos por fezes suínas; e a influência das cinzas adicionadas às fezes sobre a percepção do recurso alimentar por besouros da espécie *Dichotomius bos*. Os perfis de voláteis emitidos pelas amostras de fezes e fezes contendo cinzas foram caracterizados através de análises em um cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chamas (GC-FID). Para avaliar a resposta olfativa dos besouros, dois experimentos comportamentais independentes foram realizados utilizando-se um olfatômetro de quatro vias. Os *D. bos* foram introduzidos em grupos de quatro indivíduos cada no olfatômetro. O primeiro experimento foi composto por: três vias controle (sem fonte de odor) e uma via contendo fezes suínas. E o segundo experimento, foi composto por: fezes suínas; fezes suínas contendo cinzas; cinzas; e controle. Os resultados das análises cromatográficas mostraram que as cinzas diminuíram drasticamente a concentração dos compostos voláteis emitidos pelas fezes. No entanto, apesar da diminuição na concentração dos compostos, a atratividade das fezes não foi afetada pelas cinzas, sendo os indivíduos de *D. bos* igualmente atraídos a odores de fezes com e sem cinzas. No capítulo II, foram avaliadas: a influência da presença de cinzas sobre a realização das funções de enterrio de fezes e revolvimento de solos por besouros da espécie *Phanaeus palaeno*, além disso, foi avaliado também o efeito do sexo e do peso dos indivíduos sobre o desempenho dessas funções. As funções ecológicas foram medidas em experimentos laboratoriais, compostos por: tratamento I (baldes controle - sem cinzas sobre os solos); tratamento II (baldes contendo cinzas em apenas um lado); tratamento III (baldes contendo cinzas em ambos os lados). Os indivíduos de *P. palaeno* não tiveram suas funções afetadas pela presença de cinzas. Além disso, ambas fezes e fezes contendo cinzas foram exploradas pelos besouros. Somente o sexo dos indivíduos foi significativamente relacionado à execução das funções, sendo as fêmeas responsáveis por enterrar maiores quantidades de fezes e revolver mais solos em relação aos machos. Este trabalho mostrou que os besouros escarabeíneos estão bem adaptados às condições pós-queimada encontradas em áreas de Cerrado, não tendo seu comportamento afetado pela presença de cinzas, principal subproduto gerado a partir da queima da vegetação. Estes resultados contribuem com informações importantes sobre a resiliência da fauna ao fogo de ambientes de Cerrado.

Palavras-chave: Efeitos do fogo. Besouros rola-bosta. Resiliência. Cerrado.

ABSTRACT

Fire is an ecologically and evolutionarily important natural disturbance for the Cerrado ecosystem. Due to historical-evolutionary relation between the fire and the Cerrado, its flora and fauna this environment have been considered resistant and/or resilient to this kind of disturbance. Dung beetles are conspicuous faunal components of the Cerrado and appear to be quite resilient to fire this environment. However, despite of the understanding advances on the dung beetles' response to the fires, there are still many gaps in the knowledge about the effects this disturbance on the behavior and post-fire survival of these organisms. Thus, this study aimed to evaluate the effects on the post-fire conditions on the foraging behavior and on the ecological functions performed in dung beetles of the Cerrado. In chapter one, were evaluated: the influence of the ashes on the volatiles compounds concentrations emitted by pig dung; and the influence of the ashes added to faeces on the food resource perception by *Dichotomius bos* beetles species. The volatiles profiles emitted by faeces and faeces with ashes samples were characterized through of analysis on a gas chromatograph with flame ionization detector (GC-FID). To evaluate the olfactory response of beetles, two behavior independents experiments was conducted using a four-armed olfactometer. The *D. bos* were introduced at the olfactometer in groups of four individuals. The first experiment, was composed by: three control arms (without odor source) and one arm containing pigs dung. And the second experiment was composed by: pigs dung; mixture of the faeces and ashes; ashes; and control. The results of the chromatographic analyzes showed that the ashes drastically decreases the volatiles compounds concentration emitted by faeces. However, despite the decreasing of compounds concentration, the ashes did not' influence the attractiveness of faeces, and the individuals of *D. bos* were equally attracted by the odors of faeces with and without ashes. In chapter two, were evaluated: the influence of the ashes' presence on the performance of functions of dung burial and soil revolving by *Phanaeus palaeno* beetles species, besides that was also evaluated the effects of the sex and weight of the individuals about these functions performance. The ecological functions were measured in laboratorial experiments, composed by: treatment I, (control buckets without ashes on the soil); treatment II (bucket containing ashes on the soil in both sides); treatment III (bucket containing ashes on the soil in one side). The individuals of *P. palaeno* did not have their functions affected by the presence of ashes. Besides that, both clean and faeces mixed with ashes was the explored equally. Only the sex of the individuals was significantly related to the performance of the functions, the females buried more faeces and revolved more soil than males. This work showed the dung beetles are well adapted to the post-burned conditions found in Cerrado areas, and their behavior is not affected by the presence of ashes, the main by-product generated from the burning of vegetation. These results contribute important information about the resilience of fauna to fire from Cerrado environments.

Keywords: Fire effects. Dung beetles. Resilience. Cerrado.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1 | Cerrado a "savana brasileira" | 16 |
| 2.2 | O fogo no Cerrado | 17 |
| 2.3 | Efeitos do fogo nos solos | 17 |
| 2.4 | Efeitos do fogo sobre a comunidade vegetal..... | 18 |
| 2.5 | Efeitos do fogo sobre a fauna | 19 |
| 2.5.1 | Efeitos do fogo sobre a fauna de artrópodes do Cerrado..... | 21 |
| 2.6 | Besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae) | 23 |
| 2.7 | Pesquisas sobre os efeitos do fogo no Cerrado e estratégias de manejo..... | 24 |
| | REFERÊNCIAS | 26 |
| | CAPÍTULO I | 34 |
| | RESUMO..... | 34 |
| | ABSTRACT | 35 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 36 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS | 38 |
| 2.1 | Coleta e Preparação das amostras | 38 |
| 2.2 | Extração dos compostos de fezes e cinzas..... | 39 |
| 2.3 | Áreas de estudo | 40 |
| 2.4 | Coleta dos besouros vivos..... | 40 |
| 2.5 | Organismo estudado..... | 41 |
| 2.6 | Manutenção dos besouros em laboratório | 41 |
| 2.7 | Desenho experimental para o olfatômetro | 42 |
| 2.8 | Teste I: Eficácia do olfatômetro | 43 |
| 2.9 | Teste II: Influência de cinzas sobre a percepção do recurso pelos besouros | 43 |
| 2.10 | Análises Estatísticas | 44 |
| 3 | RESULTADOS | 46 |
| 3.1 | Técnica de cromatografia gasosa GC-FID | 46 |
| 3.2 | Teste I: Eficácia do olfatômetro | 48 |
| 3.3 | Teste II: Influência das cinzas sobre a percepção do recurso alimentar pelos besouros..... | 49 |
| 4 | DISCUSSÃO | 50 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 52 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| | REFERÊNCIAS | 53 |
| | CAPÍTULO II..... | 57 |
| | RESUMO..... | 57 |
| | ABSTRACT | 58 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 59 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS | 61 |
| 2.1 | Áreas de estudo | 61 |
| 2.2 | Coleta dos besouros vivos | 61 |
| 2.3 | Espécie modelo..... | 62 |
| 2.4 | Manutenção dos besouros | 62 |
| 2.5 | Teste das Funções ecológicas | 63 |
| 2.6 | Análises Estatísticas | 64 |
| 3 | RESULTADOS | 65 |
| 3.1 | Influência das cinzas sobre as funções ecológicas realizadas pelos besouros da espécie <i>Phanaeus palaeno</i> | 65 |
| 3.2 | Influência das características dos indivíduos no desempenho das funções ecológicas | 66 |
| 4 | DISCUSSÃO | 67 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 70 |
| | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 70 |
| | REFERÊNCIAS | 71 |
| | APÊNDICES | 74 |

1 INTRODUÇÃO

Em muitos ecossistemas ao redor do mundo o fogo é um processo natural e regular de extrema importância ecológica (BOND; WOODWARD; MIDGLEY, 2005; PAUSAS; KEELEY, 2009). No Cerrado, a ocorrência desse distúrbio é antiga e evidências fósseis indicam que as primeiras queimadas aconteceram há mais de 32.000 anos atrás, antes da chegada do homem à América do Sul (LEDRU, 2002; SALGADO-LABOURIAU; FERRAZ-VICENTINI, 1994).

O fogo é considerado um dos principais determinantes da diversidade de flora e fauna do Cerrado (MIRANDA; NETO; NEVES, 2010; MISTRY, 1998) e devido a essa relação histórico-evolutiva com o fogo, muitas características adaptativas relacionadas aos regimes de queima podem ser identificadas nos organismos desse ambiente (FIDELIS; PIVELLO, 2011; MIRANDA; BUSTAMANTE; MIRANDA, 2002). Dentre as quais destacam-se, na comunidade vegetal, por exemplo a presença de troncos tortuosos envoltos por espessa camada de súber que serve como isolante térmico contra altas temperaturas e a ocorrência de órgãos subterrâneos (BARCELLOS, 2001; FIDELIS; PIVELLO, 2011). Quanto à fauna, é possível observar mudanças no comportamento dos organismos associados ao fogo que podem estar relacionados à sua atratividade a locais queimados bem, como, a sua repelência (BARCELLOS, 2001).

Os efeitos do fogo sobre a biodiversidade do Cerrado podem ser diretos e ou indiretos (MORGADO; MOREIRA, 2010). Alguns desses efeitos são imediatos e provocam rapidamente a morte dos indivíduos; outros, no entanto só podem ser quantificados a longo prazo, sendo mediados por mudanças na estrutura do habitat (CALCATERRA et al., 2014; FRIZZO et al., 2011).

Além de forte influência sobre os organismos do Cerrado, o fogo também atua na dinâmica do ambiente alterando o fluxo de nutrientes, a umidade, a intensidade de luz e as temperaturas do ar e dos solos (COUTINHO, 1982). A combustão da vegetação é um dos processos que ocorrem durante a passagem do fogo, sendo a grande responsável por consideráveis mudanças na estrutura do habitat. Ao consumir grande parte da biomassa vegetal, a combustão gera subprodutos ricos em nutrientes e/ou metais pesados que podem ser volatilizados e perdidos para a atmosfera (FYNN; HAYNES; CONNOR, 2003) ou ficar suspensos como micropartículas no ar (COUTINHO, 2000; LANGMANN et al., 2009). Outros ainda, não sofrem volatilização e acabam sendo depositados sobre os solos na forma de cinzas (SPENCER; GABEL; HAUER, 2003).

As cinzas são substâncias altamente alcalinas ricas em Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Potássio (K), Fósforo (P) e hidrocarbonetos (PEREIRA; UEBA; MARTIN, 2011). Ao serem depositadas sobre os solos, essas substâncias ocasionam uma série de efeitos a este componente, dentre os quais, destacam-se sua capacidade de alteração da porosidade e da penetrabilidade de água no solo, alterações do pH e aumento de nutrientes (PEREIRA et al., 2013).

Os efeitos do fogo e da presença de cinzas sobre a microbiota e a macrobiota do solo ainda são pouco compreendidos (CALLAHAM et al., 2003). Segundo Vasconcelos et al. (2009), a biota do solo é o primeiro componente a responder à exposição ao fogo, podendo ser fortemente afetada por esse tipo de distúrbio (MCCULLOUGH et al., 1998). No entanto, a forma como a fauna do solo responde ao fogo, irá depender da sua história evolutiva com o fogo e de fatores como a intensidade, a frequência, a estação da queima e as condições pré e pós-fogo (DEBANO; NEARY; FFOLLIOTT, 1998; PAUSAS; PARR, 2018).

Dentre os invertebrados que habitam os solos do Cerrado, encontram-se os besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae). Esses besouros são detritívoros e se alimentam principalmente de fezes em decomposição (LOUZADA, 2008). No entanto, algumas espécies podem também se alimentar de carcaças, frutos apodrecidos, restos vegetais ou serem predadoras de outros insetos (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; HANSKI; CAMBEFORT, 1991). A localização do alimento pelos escarabeíneos é feita através do olfato (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; JONES, 2017). O olfato desses besouros possui estruturas capazes de detectar voláteis químicos orgânicos presentes nas plumas de odor oriundas da decomposição do recurso (DORMONT et al., 2010; FRANK et al., 2018; WURMITZER et al., 2017).

Os escarabeíneos possuem diferentes formas de utilização e alocação do recurso, sendo classificados em três grandes grupos: os paracoprídeos que constroem galerias abaixo do solo, próximas ou não da fonte de recurso; os endocoprídeos que residem no interior do recurso de onde se alimentam e depositam os ovos para o desenvolvimento da prole; e os telecoprídeos que retiram porções do recurso e as rolam a diferentes distâncias da fonte de origem até encontrarem um local para enterrio (HALFFTER; EDMONDS, 1982; LOUZADA, 2008). Devido às diferentes formas de alocação do recurso e do hábito de enterrar as massas fecais, os escarabeíneos acabam desempenhando uma série de funções e serviços ecossistêmicos importantes (LOUZADA, 2008; NICHOLS et al., 2008). Ao enterrar o recurso esses besouros alteram as propriedades físicas e químicas do solo, promovendo maior aeração e penetrabilidade de água, além de aumentar os teores de

matéria orgânica e nutrientes fundamentais para os demais organismos associados ao solo (BANG et al., 2005; DOUBE, 2018; SANTOS-HEREDIA; ANDRESEN, 2014).

Apesar do avanço nas pesquisas envolvendo a resposta dos escarabeíneos ao fogo (ANDRADE et al., 2014; LOUZADA; SCHIFFLER; VAZ-DE-MELLO, 1996; NUNES et al., 2018), estudos que avaliam as respostas comportamentais e ecológicas dos indivíduos a esse tipo de distúrbio e aos efeitos imediatos ocasionados por ele, ainda são escassos. Segundo Diniz (1997), as respostas das comunidades e das populações às queimadas representam a soma da resposta de cada indivíduo. Portanto, é interessante conduzir experimentos que avaliem o comportamento individual dos organismos ao fogo. Além disso, mudanças antrópicas nos regimes naturais de queima podem ocasionar efeitos negativos à biodiversidade, que potencialmente já pode estar adaptada a ambientes dependentes do fogo (MARAVALHAS; VASCONCELOS, 2014). Dessa forma, o conhecimento da resposta dos escarabeíneos ao fogo do Cerrado pode preencher lacunas e auxiliar na proposição de estratégias de manejo e uso do fogo, garantindo a conservação destes e de demais grupos animais importantes para a dinâmica e o funcionamento desse ecossistema.

Esta dissertação visa contribuir com algumas lacunas no conhecimento dos efeitos do fogo sobre a fauna de escarabeíneos do Cerrado. Sendo retratados em dois capítulos, os efeitos de resíduos pós-queimada em forma de cinzas sobre os comportamentos de forrageio e utilização do recurso por besouros escarabeíneos. No capítulo I, composto por dois experimentos laboratoriais, foram avaliados a influência de resíduos pós-queimada (cinzas) sobre a concentração de compostos voláteis orgânicos emitidos por fezes suínas; e o efeito das cinzas adicionadas às fezes sobre a percepção olfativa do recurso alimentar por besouros rola-bosta da espécie *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846). No capítulo II, foi avaliada a influência de cinzas sobre o desempenho das funções ecológicas de enterrio de fezes e revolvimento de solo executadas por besouros pertencentes à espécie *Phanaeus palaeno* (Blanchard, 1846); e, além disso, foi avaliada ainda a influência de características dos indivíduos, tais como sexo e peso sobre o desempenho dessas funções, em recursos com e sem cinzas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cerrado a “savana brasileira”

As savanas são formações tropicais e subtropicais compostas por uma camada relativamente contínua de gramíneas e componentes arbóreos em densidades variadas (BOURLIÈRE; HADLEY, 1983; SILVA et al., 2011). A distribuição e variação das savanas ao redor do mundo são determinadas por diversos fatores, dentre os quais, destacam-se a umidade e a disponibilidade de nutrientes nos solos, as taxas de herbivoria e os regimes de fogo (MISTRY, 2000).

Na América do sul, as principais formações savânicas estão situadas no bioma Cerrado (GOTTSBERGER; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006; SILVA et al., 2011). O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando originalmente uma área de aproximadamente 2 milhões de km² que representam 25% de todo o território nacional (DURIGAN; RATTER, 2016). Localizado no planalto central do Brasil, abrange os estados de Goiás, Tocantins, Distrito Federal, Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo, além de áreas no norte do estado do Amapá, Amazonas, Pará e Roraima (RIBEIRO; WALTER, 1998). Segundo a classificação Köppen, o clima do Cerrado é Aw, caracterizado por invernos secos e verões chuvosos com duas estações bem definidas que têm influência direta sobre a vegetação e sobre a composição de nutrientes essenciais (RIBEIRO; WALTER, 1998; RICHARDS, 1952).

O Cerrado é formado por um mosaico com diferentes fitofisionomias que variam desde áreas abertas como os campos sujos, campos limpos e campos rupestres, a formações florestais, tais como o cerradão e as matas de galeria (COUTINHO, 1990; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002; RIBEIRO; WALTER, 1998). Esse bioma possui uma elevada riqueza de flora e estima-se que existam aproximadamente 12.600 espécies de plantas, sendo 80% dessas espécies consideradas endêmicas desse ambiente (MENDONÇA; FELFILI; WALTER, 2008; MYERS et al., 2000). Quanto à fauna do Cerrado, foram registradas >830 espécies de aves, >1.200 espécies da ictiofauna, >300 espécies da herpetofauna, 90.000 espécies de invertebrados e aproximadamente 199 espécies de mamíferos de pequeno e médio porte (AGUIAR; MACHADO; MARINHO-FILHO, 2004; KLINK; MACHADO, 2005).

As ameaças ao Cerrado vêm crescendo em ritmo acelerado nas últimas décadas e um dos principais fatores que atingem o bioma é o desmatamento das áreas para utilização na agricultura (GARCIA; FERREIRA, LEITE, 2011; MACHADO, 2016). Dados recentes apontam que aproximadamente 54,9% das áreas naturais do Cerrado já foram convertidas em áreas agrícolas, pastagens, áreas urbanas e mineração (MACHADO, 2016).

Segundo dados do IBAMA (2009), o Cerrado tem hoje cerca de 9,4% de seu território protegido por Unidades de Conservação de âmbito Federal, Estadual e Municipal. No entanto, apesar da expansão das áreas protegidas que englobam o bioma, a porcentagem total ainda é extremamente baixa (MACHADO, 2016).

Além da criação de Unidades de conservação para a proteção e manutenção da biodiversidade do Cerrado, o fogo tem sido amplamente utilizado como ferramenta de manejo do bioma (FIDELLIS; PIVELLO, 2011). Inúmeros trabalhos destacam a importância do fogo para o Cerrado e a necessidade da reavaliação do uso de queimadas controladas na proteção do bioma (ABREU et al., 2017; DURIGAN; RATTER, 2016; PIVELLO, 2011; SCHMIDT et al., 2016).

2.2 O fogo no Cerrado

Assim como as savanas de outras partes do mundo, o Cerrado também evoluiu com a presença e efeito do fogo. Evidências fósseis mostram que o fogo está presente nesse ecossistema a pelo menos 32.000 anos (DINIZ; MORAIS, 2008; LEDRU, 2002). Essa relação histórico-evolutiva entre o fogo e o Cerrado é um dos fatores que determina a grande variação fitofisionômica encontrada (SATO, 2003).

No Cerrado, os incêndios podem ser de origem natural ou antrópica (ARRUDA et al., 2018; MIRANDA; SATO, 2006). Incêndios naturais são comuns durante a estação chuvosa e são provocados em maioria por raios (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000). Tais incêndios são de grande importância para a dinâmica das comunidades e para a manutenção do ecossistema (HOLFFMAN; MOREIRA, 2002).

Ao contrário do fogo natural, os incêndios provocados pelo homem ocorrem no Cerrado de forma acidental ou intencional (BRITO, 2014). As queimas intencionais são utilizadas, na maioria das vezes para a preparação dos solos para o plantio (COUTINHO, 1990; RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000) e renovação de pastagens (PIVELLO, 2011). Essas práticas têm se intensificado nas últimas décadas devido à expansão da agricultura e pecuária, sendo consideradas, portanto, uma das principais ameaças à biodiversidade do Cerrado (DINIZ; MORAIS, 2008; FIDELIS; PIVELLO, 2011).

2.3 Efeitos do fogo nos solos

O fogo pode ter influências positivas ou negativas sobre os aspectos físicos, químicos e biológicos do Cerrado (MIRANDA; SATO, 2006). Nos solos, dentre as principais mudanças no aspecto físico destacam-se a elevação da temperatura e a alteração da umidade do solo (BRITO, 2014; COUTINHO, 2000). No entanto, o grau de elevação da

temperatura do solo irá depender de fatores como, a quantidade de material combustível disponível, e a umidade tanto dos solos quanto das plantas, que quando úmidas podem dispersar mais lentamente a combustão (COSTA; RODRIGUES, 2015).

Além das alterações físicas do solo, o fogo promove também a retirada da cobertura vegetal expondo diretamente a superfície do solo à radiação solar (COUTINHO, 1980). Essa exposição pode ter influências negativas sobre as taxas de infiltração e evapotranspiração da água, bem como da porosidade do solo e do nível de erosão hídrica (SPERA et al., 2000).

No aspecto biológico, o fogo pode afetar de forma positiva e/ou negativa a micro e a macrobiota associada ao solo (REDIN et al., 2011). Após as queimadas, é comum que algumas populações de microrganismos sofram mudanças variáveis na abundância dos indivíduos podendo aumentar expressivamente suas colônias em resposta ao fogo (MOURA, 2007). No entanto, de forma geral, o fogo tem sido considerado letal para a maioria dos microrganismos (PIEROZZI, 2013). As variações nas populações de microrganismos após as queimadas podem ter implicações negativas ao solo, uma vez que eles têm sido considerados os principais responsáveis pela decomposição de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia (PIEROZZI, 2013).

Quanto aos aspectos químicos, o fogo provoca alterações no pH do solo, na volatilização de substâncias químicas e nas transferências de nutrientes (BRITO, 2014; COUTINHO, 1978; MEIRELLES, 1990). As transferências de nutrientes são um importante fator ecológico para o Cerrado (COUTINHO, 1982). Com a passagem do fogo, ocorre a mineralização da matéria orgânica e parte dos nutrientes é depositada sobre os solos na forma de cinzas, se tornando temporariamente mais disponíveis para serem incorporados pelas plantas (COUTINHO, 2000).

2.4 Efeitos do fogo sobre a comunidade vegetal

O fogo tem controle direto sobre as comunidades vegetais do Cerrado, sendo os efeitos sobre este grupo relativamente bem conhecidos e fáceis de identificar (FRIZZO et al., 2011; WALTER, 2006). Por estabelecerem uma forte relação com o fogo, a dinâmica de grande parte das espécies de plantas do Cerrado é extremamente dependente das queimadas para sua manutenção (DURIGAN; RATTER, 2016; HOLFFMAN; MOREIRA, 2002).

O fogo promove uma série de benefícios às plantas, pois atua na quebra da dormência de sementes, facilita o processo de brotamento e floração das plantas, permite a polinização cruzada e controla a abundância e a ocorrência de diferentes espécies ao remover a biomassa vegetal, ampliando os espaços disponíveis no solo (BRITO, 2014; COUTINHO, 2000;

FIDELIS; PIVELLO, 2011; KEELEY et al., 2011; PEREIRA; NAPPO; REZENDE, 2007). Com a remoção de algumas espécies de plantas, o fogo também tem importante papel como filtro ambiental moldando a estrutura das comunidades, podendo favorecer espécies com melhor poder de adaptação (SILVA et al., 2011).

Diferentes regimes de queima favorecem diferentes grupos de plantas. Em áreas onde o fogo é frequente, ou seja, onde ocorrem queimadas anuais ou bienais, há a predominância de espécies herbáceas e ou subarbustivas (GOTTSBERGER; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006). Muitas das espécies herbáceas do Cerrado têm a produção de suas sementes estimuladas por queimas frequentes. Em áreas onde o fogo é pouco frequente, as espécies arbóreas e de grande porte se sobressaem, mudando, portanto, a conformação da paisagem (FIDELIS; PIVELLO, 2011).

As comunidades vegetais do Cerrado são dotadas de características morfológicas e fisiológicas adaptadas aos regimes de queima (COUTINHO, 1990; KEELEY et al., 2011). Tais características são observadas em espécies arbóreas, por exemplo, onde os troncos possuem uma tortuosidade bastante acentuada e muitos são envoltos por espessas camadas de súber que funciona como um potente isolante térmico (COUTINHO, 1980, 1982, 2000; SILVA et al., 2011). Em espécies de herbáceas como gramíneas e ciperáceas, as gemas são protegidas por estruturas folheares que garantem o rebrote das plantas após a passagem do fogo (COUTINHO, 1980, 1982). Outras ainda podem apresentar órgãos subterrâneos como xilopódios e rizomas com capacidade de formar ramos aéreos, vegetativos ou reprodutivos após a passagem do fogo (COUTINHO, 1980, 1982, 1990).

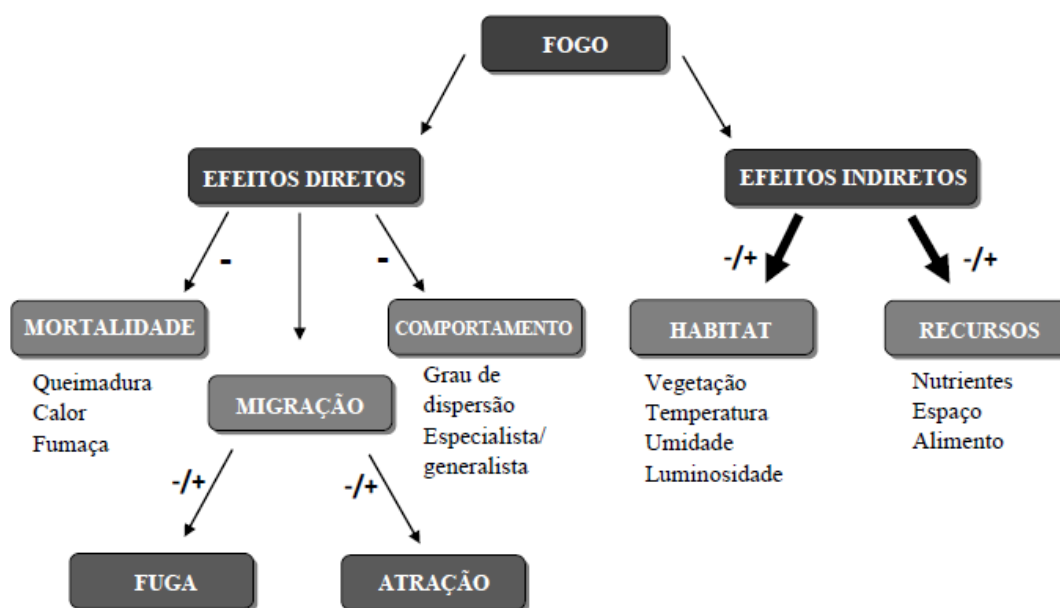
2.5 Efeitos do fogo sobre a fauna

Os efeitos do fogo sobre a fauna do Cerrado ainda são pouco entendidos (ARRUDA et al., 2018; BRIANI et al., 2004; CANEDO-JÚNIOR et al., 2016; FRIZZO et al., 2011). No entanto, a maioria deles é baseada, geralmente, na frequência e na intensidade em que as queimadas ocorrem nesse ambiente (FRIZZO et al., 2011). Incêndios frequentes consomem somente o extrato herbáceo e são de baixa intensidade porque não dão tempo para que a biomassa vegetal se recupere (KAUFFMAN; CUMMINGS; WARD, 1994). Já em baixos regimes de queima, há tempo suficiente para que haja grande acúmulo de biomassa combustível, o que provoca incêndios de grande intensidade que podem gerar efeitos desastrosos à fauna (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000).

O fogo pode afetar direta ou indiretamente a fauna do Cerrado (MORGADO; MOREIRA, 2010). Efeitos diretos causam a morte dos organismos por queimaduras e

intoxicação devido à exposição ao calor e a fumaça (FIGURA 1) e, além disso, podem provocar alterações no comportamento e/ou levar à migração forçada das populações (FRIZZO et al., 2011; NEW, 2014; PAUSAS; PARR, 2018). Tais efeitos também conhecidos como efeitos a curto prazo, ocorrem durante a fase de combustão e podem durar de algumas horas, há dias, semanas ou meses (CALCATERRA et al., 2014; ELIA et al., 2016; MORGADO; MOREIRA, 2010).

Figura 1 - Representação esquemática dos efeitos diretos e indiretos do fogo sobre a fauna do Cerrado. Modificado de Morgado e Moreira (2010).



Fonte: Do Autor (2019)

A taxa de mortalidade dos organismos durante a combustão ou durante a fase de choque pós-fogo, pode variar em função da intensidade do fogo e das características comportamentais e biológicas das espécies (FRIZZO et al., 2011; MORGADO; MOREIRA, 2010). Essa mortalidade pode ser sentida ao longo de diversas semanas após o fogo, não ocorrendo somente durante a fase de combustão (SWENGEL, 2001).

Os animais sésseis ou com pouca mobilidade, geralmente, são os mais atingidos pelas queimadas quando comparados a organismos com grande capacidade de dispersão (MORGADO; MOREIRA, 2010). No entanto, ainda assim, alguns organismos de pouca mobilidade sobrevivem às queimadas se refugiando em abrigos no interior da própria área atingida (LYON et al., 2000). A taxa de migração e emigração dos animais logo após a fase de combustão pode aumentar ou diminuir dependendo do quanto e como o fogo alterou a estrutura do habitat.

Os efeitos indiretos do fogo e/ou de longo prazo se dão através de modificações na estrutura do habitat e na disponibilidade de recursos (FIGURA 1) (ANDERSEN; WOINARSKI; PARR, 2012; CALCATERRA et al., 2014; ELIA et al., 2016) e ocorrem durante a fase de recuperação pós-fogo que pode ser sentida ao longo de vários anos. Tais efeitos podem tanto beneficiar as populações quanto prejudicá-las.

Os benefícios e prejuízos proporcionados à fauna com a passagem do fogo podem ser observados entre diferentes táxons. Dentre a avifauna, destacam-se as aves de rapina que se alimentam de presas facilmente expostas em áreas atingidas pelo fogo, e as frugívoras que se alimentam de estruturas como sementes e frutos de plantas recém-emergidas (LYON et al., 2000; TUBELIS, 2009). Além destas, algumas espécies de beija-flores também podem ser abundantes em áreas queimadas devido à disponibilidade de parceiros para a reprodução e de néctar, principal recurso alimentar utilizado por esses organismos (LYON et al., 2000).

Quanto à mastofauna, a maior parte da literatura descreve os benefícios proporcionados a pequenos mamíferos, sobretudo roedores (BRIANI et al., 2004; GROVES; STEENHOF, 1988; KAUFMAN; KAUFMAN; FINCK, 1982). No entanto, alguns fatores negativos também podem ser observados envolvendo esses organismos, por exemplo, roedores que constroem ninhos acima da superfície do solo são severamente atingidos pelo fogo, especialmente porque muitos dos materiais utilizados na construção dos ninhos são altamente inflamáveis (LYON et al., 2000).

Para mamíferos de grande porte, alguns exemplos envolvem tatus e tamanduás que se beneficiam do fogo ao utilizarem áreas recém-queimadas para se alimentar de formigas e cupins (PRADA; MARINHO-FILHO, 2004). Além destes, alguns herbívoros podem necessitar de habitats abertos criados pelo fogo para a busca por alimento (PAUSAS; PARR, 2018).

Quanto à herpetofauna, existem poucos trabalhos que relatam os efeitos negativos do fogo sobre esses organismos. Faria; Lima e Magnusson (2004) encontraram perda de refúgios e/ou microhabitats importantes para algumas espécies de lagartos. No entanto, embora grande parte das espécies tenha mobilidade limitada, segundo Lyon et al. (2000), muitos répteis e anfíbios vivem em locais úmidos e esses locais provavelmente queimam com menor intensidade, o que pode favorecer a sobrevivência desses organismos.

2.5.1 Efeitos do fogo sobre a fauna de artrópodes do Cerrado

A fauna de artrópodes do Cerrado é bastante diversa e esses organismos podem apresentar uma variedade de respostas ao fogo (ANJOS; ALVES-SILVA; RIBEIRO, 2016; MILHOMEM, 2003; PARR et al., 2007; PRIKE; SAMWAYS, 2012). Dentre a fauna de

artrópodes do Cerrado, os insetos são um dos grupos mais abundantes (COUTINHO, 2000) e estima-se que existam mais de 11.000 espécies de insetos descritas nesse ambiente (AGUIAR; MACHADO; MARINHO-FILHO, 2004).

O fogo pode afetar os insetos de diferentes formas e as respostas dos organismos vão depender de inúmeros fatores, dentre eles, o grupo taxonômico, a história de vida dos organismos, o tipo de habitat que está inserido, o tipo de incêndio e a intensidade e a frequência da queimada (ANJOS; ALVES-SILVA; RIBEIRO, 2016; ARRUDA et al., 2018; MILHOMEN, 2003).

Os insetos com pouca mobilidade em pelo menos algum estágio de desenvolvimento (larvas e pupas) e que ocorrem na serrapilheira ou acima da superfície do solo, geralmente são os mais afetados pelo fogo e a mortalidade desses organismos pode ser inevitável (DOAMBA; SAVADOGO; NACRO, 2014; GONGALSKYA et al., 2012; MALMSTRÖM et al., 2009; NEW, 2014). Alguns exemplos envolvem galhas, insetos minadores (MARINI-FILHO, 2000; SWENGEL, 2001) e algumas espécies de formigas arborícolas (CANEDO-JÚNIOR et al., 2016; MORAIS; BENSON, 1988; NAVES, 1996). Espécies com maior mobilidade têm sofrido menos com os impactos das queimadas, pois os organismos podem se dispersar escavando abrigos no interior do solo ou voando para locais de refúgio para escapar do fogo (MORGADO; MOREIRA, 2010).

O fogo também pode afetar positivamente determinados grupos (ANJOS; ALVES-SILVA; RIBEIRO, 2016; NEW, 2014; SWENGEL, 2001). Insetos polinívoros e nectarívoros, por exemplo, se beneficiam da resposta floral das plantas (floração) após a queimada (COUTINHO, 2000). Outros ainda, como algumas espécies de besouros das famílias Carabidae e Buprestidae, são atraídas para áreas recém-queimadas e se aproveitam dos recursos disponíveis no local (NEW, 2014; SWENGEL, 2001). As chamas ou os odores de fumaça funcionam como sinalizadores de aumento ou presença de recursos sejam estes alimentos ou locais adequados para oviposição (NEW, 2014).

Dentre os insetos detritívoros, alguns besouros da subfamília Scarabaeinae podem apresentar respostas variadas ao fogo (ARELLANO; CASTILLO-GUEVARA, 2014; LOUZADA et al., 1996; NUNES et al., 2018; SMITH; DABBERT; VERVLE, 2019), sendo tais respostas refletidas em mudanças na abundância dos indivíduos e na diversidade de espécies das comunidades.

2.6 Besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae)

A ordem Coleoptera, representada pelos besouros, destaca-se pela sua diversidade específica, totalizando aproximadamente 25% de todas as espécies animais descritas e aproximadamente 40% de todos os insetos (SCHOWALTER, 2016). Dentro de Coleoptera, encontram-se os besouros escarabeíneos. Os besouros escarabeíneos são pertencentes à subfamília Scarabaeinae e estão distribuídos globalmente, sendo a maior diversidade de espécies encontrada principalmente em sistemas florestais e savanas tropicais (HANSKI; CAMBEFORT, 1991). No Brasil, foram registradas mais de 726 espécies distribuídas em 63 gêneros (TISSIANI; VAZ-DE-MELLO; CAMPELO-JÚNIOR, 2017; VAZ-DE-MELLO, 2018). Foram registrados ainda números expressivos de espécies para o grupo em biomas brasileiros como o Cerrado e a Caatinga (ALMEIDA; LOUZADA, 2009; MILHOMEN; VAZ-DE-MELLO; DINIZ, 2006).

Os escarabeíneos são detritívoros e utilizam principalmente fezes, carcaças e frutos em decomposição como recurso alimentar, mas existem também algumas poucas espécies que são predadoras de outros insetos e outras que são consideradas generalistas de detritos (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; HANSKI; CAMBEFORT, 1991). Popularmente conhecidos como “rola-bostas”, estes besouros recebem esse nome devido ao comportamento de algumas espécies de confeccionar bolas de detritos e rolá-las a variadas distâncias do recurso fonte (HALFFTER; MATTHEWS, 1966).

Os rola-bostas possuem diferentes estratégias de alocação do recurso, e devido a esse comportamento, são classificados em três guildas funcionais: a guilda dos roladores ou telecoprídeos, que confeccionam bolas fecais e as rolam para longe da fonte original; a guilda dos escavadores ou paracoprídeos, que possuem o hábito de escavar túneis próximos ou abaixo dos depósitos fecais para onde são levados os recursos utilizados na alimentação e/ou reprodução; e a guilda dos residentes ou endocoprídeos, que se alocam dentro ou imediatamente abaixo do recurso fecal (CAMBEFORT, 1991; HALFFTER; EDMONDS, 1982; LOUZADA, 2008).

Devido às diferentes formas de alocação do recurso, os escarabeíneos desempenham uma série de funções ecossistêmicas, dentre as quais estão à remoção e incorporação de matéria orgânica no solo, o incremento da permeabilidade e aeração do solo, a dispersão secundária de sementes e a polinização (ANDERSEN, 2003; BANG et al., 2005; NICHOLS et al., 2008). Tais funções estão intimamente interligadas e fornecem uma série de benefícios ao ambiente.

A incorporação de matéria orgânica no solo é uma das principais funções executadas pelos escarabeíneos, sobretudo, pelos escavadores (LOUZADA, 2008). Tal função é crucial para a ciclagem de nutrientes e para a produtividade dos ambientes savânicos. Segundo Gillard (1967) e Ykoyama et al. (1991), ao enterrarem o recurso os besouros reduzem de 80 para 15% a volatilização de nitrogênio para a atmosfera, garantindo, portanto, que esse nutriente esteja disponível nos solos para ser incorporado pelas plantas. Para o enterrio do recurso, os escarabeíneos constroem galerias subterrâneas, tais galerias aumentam a areação dos solos e favorecem a permeabilidade da água melhorando as funções ecológicas do solo (LOUZADA, 2008; NICHOLS et al., 2008).

Outra consequência advinda da utilização e enterrio das fezes pelos besouros coprófagos é o processo de dispersão secundária de sementes, uma vez que os grandes vertebrados frugívoros acabam defecando no solo as sementes resultantes da alimentação (ESTRADA; COATES-ESTRADA, 1991; VULINEC, 2002). Além da dispersão, a ação de enterrar as sementes junto com a massa fecal impede a ação de predadores (ESTRADA; COATES-ESTRADA, 1991).

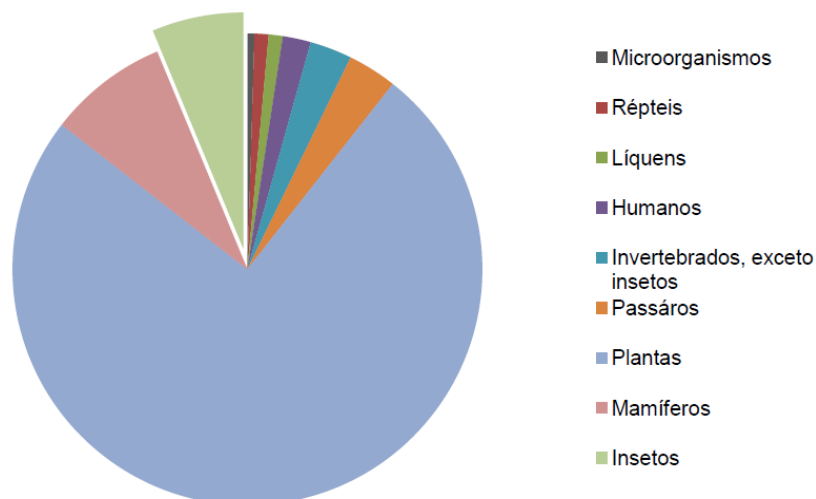
Além da realização de funções ecológicas importantes, os Scarabaeinae são considerados excelentes bioindicadores de alterações ambientais e alguns estudos têm mostrado grande sensibilidade desses organismos a distúrbios provocados no habitat, sobretudo, incluindo distúrbios como o fogo (GARDNER et al., 2008). Em trabalhos que avaliaram as respostas indiretas dos Scarabaeinae ao fogo em áreas de restinga e floresta, foram observadas reduções na abundância dos indivíduos e alterações na composição de espécies das comunidades (ANDRADE et al., 2014; LOUZADA et al., 1996). Porém, o contrário foi observado para os habitats savânicos, onde esses besouros se mostraram bastante resilientes ao fogo (NUNES et al., 2018; SMITH; DABBERT; VERBLE, 2019).

2.7 Pesquisas sobre os efeitos do fogo no Cerrado e estratégias de manejo

Inúmeros trabalhos têm sido conduzidos visando entender os efeitos do fogo sobre os diversos aspectos ambientais do Cerrado, sobretudo, aqueles ligados à flora desse ambiente (ABREU et al., 2017; COSTA; RODRIGUES, 2015; MOREIRA, 2000; PELLEGRINE et al., 2015). Em uma revisão recente na literatura sobre as pesquisas com fogo no Cerrado, Arruda et al. (2018) identificaram entre diferentes táxons que as plantas foram as mais estudadas dentre os 207 artigos selecionados pelos autores (155 publicações, 75%) (FIGURA 2). A alta diversidade de plantas no Cerrado e o elevado grau de endemismo das espécies aumentam o risco de extinção das mesmas, o que pode ser uma das

justificativas para a maioria das pesquisas envolvendo esse táxon (ARRUDA et al., 2018; MYERS et al., 2000).

Figura 2 - Grupos taxonômicos estudados em artigos sobre o fogo no Cerrado (1991 a 2016), modificado de Arruda et al. (2018).



Fonte: Do Autor (2019)

Os insetos ocupam o terceiro lugar nas pesquisas dentre os táxons encontrados por Arruda et al. (2018) (13 artigos, 6%) (FIGURA 2) e apesar do crescente número de publicações envolvendo insetos (e.g., ANJOS; ALVES-SILVA; RIBEIRO, 2016; CALCATERRA et al., 2014; CANEDO-JÚNIOR et al., 2016; NUNES et al., 2018), ainda existem muitas lacunas sobre os efeitos do fogo nesses organismos.

Frizzo et al. (2011), também revisaram trabalhos sobre os efeitos do fogo no Cerrado e encontraram uma grande escassez no conhecimento da resposta da fauna a esse tipo de distúrbio. Segundo eles, essa limitação no conhecimento pode induzir generalizações que podem não refletir os reais efeitos do fogo sobre os organismos desse ambiente.

O conhecimento dos efeitos do fogo sobre diferentes táxons pode ser uma ferramenta importante na criação de políticas de gestão e uso do fogo como estratégia de manejo adequada para o Cerrado (COUTINHO, 2000), e um dos problemas que inviabilizam a aplicação de determinadas estratégias é justamente a falta ou a assimetria no conhecimento de tais efeitos (PAUSAS; PARR, 2018).

No Brasil, há uma crescente demanda na criação de políticas de manejo do fogo para a conservação do Cerrado (DURIGAN; RATTER, 2016; PIVELLO, 2011). No entanto, para garantir o uso de regimes de queima adequados, as estratégias de manejo devem ser baseadas em pesquisas sobre os efeitos do fogo na biota local, além de informações como o

tipo fisionômico da área, a flora e a fauna específicas, a presença de espécies exóticas e as características do entorno (FIDELLIS; PIVELLO, 2011). Sendo assim, são necessários, portanto, investimentos em pesquisas sobre os efeitos fogo no Cerrado para garantir um manejo adequado que vise o melhor equilíbrio desse ecossistema (ARRUDA et al., 2018).

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. C. R. et al. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v. 3, n. 8, p. 1-7, aug. 2017.
- AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B.; MARINHO-FILHO, J. A diversidade biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. (ed.). **Ecologia e caracterização do Cerrado**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Cerrados, Brasil, Planaltina, 2004, p. 19-42.
- ALMEIDA, S. P. de; LOUZADA, J. N. C. Estrutura da comunidade de Scarabaeinae (Scarabaeidae: Coleoptera) em fitofisionomias do Cerrado e sua importância para a conservação. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 1, p. 32-43, jan. 2009.
- ANDRADE, R. B. et al. Tropical forest fires and biodiversity: dung beetle community and biomass responses in a northern Brazilian Amazon forest. **Journal of Insect Conservation**, v. 18, n. 6, p. 1097-1104, nov. 2014.
- ANDRESEN, E. Effect of forest fragmentation on dung beetle communities and functional consequences for plant regeneration. **Ecography**, v. 26, n. 1, p. 87-97, abr. 2003.
- ANDERSEN, A. N.; WOINARSKI, J. C. Z.; PARR, C. L. Savanna burning for biodiversity: fire management for faunal conservation in Australian tropical savannas. **Austral Ecology**, v. 37, n. 6, p. 658-667, jan. 2012.
- ANJOS, D.; ALVES-SILVA, E.; RIBEIRO, S. P. Do fire and seasonality affect the establishment and colonization of litter arthropods? **Journal of Insect Conservation**, v. 20, n. 4, p. 653-661, aug 2016.
- ARELLANO, L.; CASTILLO-GUEVARA, C. Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México. **Revista Mexicana de Biodiversidade**, v. 85, n. 3, p. 854-865, sep. 2014.
- ARRUDA, F. V. et al. Trends and gaps of the scientific literature about the effects of fire on Brazilian Cerrado. **Biota Neotropica**, v. 18, n. 1, p. 1-6, mar. 2018.
- BANG, H. S. et al. Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. **Applied Soil Ecology**, v. 29, n. 2, p. 165-171, jun. 2005.
- BARCELLOS, T. G. **Efeitos do fogo sobre a fauna e a flora no cerrado**. 2001. 37 p. Monografia, (Licenciatura em Ciências Biológicas)-Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Brasília, 2001.
- BOND, W. J.; WOODWARD, F. I.; MIDGLEY, G. F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New Phytologist**, v. 165, n. 2, p. 525-538, nov. 2005.
- BOURLIÈRE, F.; HADLEY, M. Present-day savannas: an overview. In: BOURLIÈRE, F. **Ecosystems of the world 13: tropical savannas**. Ed. Oxford, Amsterdam, New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983. p. 1-17.

- BRIANI, D. C. et al. Post-fire succession of small mammals in the Cerrado of central Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, n. 5, p. 1023-1037, may. 2004.
- BRITO, D. Q. **Avaliação ecotoxicológica das cinzas de queimadas do Cerrado em ambientes aquáticos**. 2014. 120 f., il. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural)-Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- CALCATERRA, L. A. et al. Fire effect on ground-foraging ant assemblages in northeastern Argentina. **Journal of Insect Conservation**, v. 18, n. 3, p. 339-352, jun. 2014.
- CALLAHAM, J. R. M. A. et al. Macroinvertebrates in North American tallgrass prairie soils: effects of fire, mowing, and fertilization on density and biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 8, p. 1079-1093, aug. 2003.
- CANEDO-JÚNIOR, O. E. et al. Can anthropic fires affect epigaeic and hypogaeic Cerrado ant (Hymenoptera: Formicidae) communities in the same way? **Revista de Biologia Tropical**, v. 64, n. 1, p. 95-104, mar. 2016.
- CAMBEFORT, Y. Biogeography and evolution. In: HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. **Dung beetle ecology**. ed. Princeton University: Princeton, 1991. p. 51-67.
- COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de cerrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 149-165, 2015.
- COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: I. A temperatura do solo durante as queimadas. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, p. 93-96, 1978.
- COUTINHO, L. M. As Queimadas e seu Papel Ecológico. **Brasil Florestal**, v. 44, n. 4, p. 7-23, 1980.
- COUTINHO, L. M. Ecological effects of fire in Brazilian Cerrado. In: HUNTLEY, B. J.; WALKER, B. H. **Ecology of tropical savannas**. New York: Springer Verlag, 1982. p. 273-291.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.
- COUTINHO, L. M. O bioma do cerrado. In: KLEIN, A. L. **Eugen Warming e o cerrado brasileiro um século depois**. São Paulo: Unesp, 2000. 256 p.
- DEBANO, L. F.; NEARY, D. G.; FFOLLIOTT, P. F. **Fire Effects on Ecosystems**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 333 p.
- DINIZ, I. R. **Variação na abundância de insetos no Cerrado: efeito das mudanças climáticas e do fogo**. 1997. Doutorado, (Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia), Universidade de Brasília. Brasília, DF, 1997.
- DINIZ, A. L. R.; MORAIS, H. C. Efeito do Fogo na Abundância de Insetos do Cerrado: O que sabemos? **Heringeriana**, v. 2, n. 1, p. 39-46, 2008.
- DOAMBA, S. W. M. F.; SAVADOGO, P.; NACRO, H. B. Effects of burning on soil macrofauna in a savanna-woodland under different experimental fuel load treatments. **Applied Soil Ecology**, v. 81, p. 37-44, sept. 2014.
- DORMONT, L. et al. Innate olfactory preferences in dung beetles. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 18, p. 3177-3186, may. 2010.
- DOUBE, B. M. Ecosystem services provided by dung beetles in Australia. **Basic and Applied Ecology**, v. 26, p. 35-49, february. 2018.

- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11-15, octo. 2016.
- ELIA, M. et al. Cost-effectiveness of fuel removals in Mediterranean wildland-urban interfaces threatened by wildfires. **Forests**, v. 7, n. 7, p. 149, jul. 2016.
- ESTRADA, A.; COATES-ESTRADA, R. Howler monkeys (*Alouatta palliata*), dung beetles and seed dispersal: ecological interactions in the tropical rain forest of Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. **Journal of Tropical Ecology**, v. 7, n. 4, p. 459-474, nov.1991.
- FARIA, A. S.; LIMA, A. P.; MAGNUSSON, W. E. The effects of fire on behaviour and relative abundance of three lizard species in an Amazonian savanna. **Journal of Tropical Ecology**, v. 20, n. 5, p. 591-594, december. 2004.
- FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 12-25, 2011.
- FRANK, K. et al. In search of cues: dung beetle attraction and the significance of volatile composition of dung. **Chemoecology**, v. 28, n. 4/5, p. 145-152, out. 2018.
- FRIZZO, T. L. M. et al. Uma revisão dos efeitos do fogo sobre a fauna de formações savânicas do Brasil. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 2, p. 365-379, 2011.
- FYNN, R. W. S.; HAYNES, R. J.; CONNOR, T. G. Burning causes long-term changes in soil organic matter content of a South African grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 5, p. 677-687, may. 2003.
- GARCIA, F. N.; FERREIRA, L. G.; LEITE, J. F. Áreas Protegidas no Bioma Cerrado: fragmentos vegetacionais sob forte pressão. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Brasil (Curitiba, PR). **Anais...** Curitiba, PR: SBSR, 2011. p. 4086-4093.
- GARDNER, T. A. et al. Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 3, p. 883-893, mar. 2008.
- GILLARD, P. Coprophagous beetles in pasture ecosystems. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, v. 33, p. 30-34, dez. 1967.
- GONGALSKYA, K. B. et al. Do burned areas recover from inside? An experiment with soil fauna in a heterogeneous landscape. **Applied Soil Ecology**, v. 59, p. 73-86, aug. 2012.
- GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. Life in the Cerrado: a South American tropical seasonal vegetation. Origin, structure, dynamics and plant use. **Reta Verlag**, v. 1, p. 277, nov. 2006.
- GROVES, C. R.; STEENHOF, K. Responses of small mammals and vegetation to wildfire in shadscale communities of southwestern Idaho. **Northwest Science**, v. 62, n. 5, p. 205-210, jan. 1988.
- HALFFTER, G.; EDMONDS, W. D. **The Nesting Behavior of Dung Beetles (Scarabaeinae)**. México: Instituto de Ecología, 1982. 176 p.
- HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). **Folia Entomológica Mexicana**, México, v. 12/14, p. 1-312, 1966.
- HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. **Dung beetle ecology**. Princeton: Princeton University Press. 1991, 481 p.

HOLFFMAN, W. A.; MOREIRA, A. G. The Role of Fire in Population Dynamics of Woody Plants. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. 373 p.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Unidades de conservação**. IBAMA, 2009. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/zoneamentoambiental/ucs/>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

JONES, R. **Call of Nature: The secret life of dung**. [S.l.], Pelagic Publishing Ltd, 2017. 303 p.

KAUFMAN, G. A.; KAUFMAN, D. W.; FINCK, E. J. The effect of fire frequency on populations of the deer mouse (*Peromyscus maniculatus*) and the western harvest mouse (*Reithrodontomys megalotis*). **Bulletin of the Ecological Society of America**, v. 63, p. 66, 1982.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, n. 3, p. 519-531, sep. 1994.

KEELEY, J. E. et al. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 8, p. 406-411, aug. 2011.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

LANGMANN, B. et al. Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. **Atmospheric environment**, v. 43, n. 1, p. 107-116, jan. 2009.

LEDRU, M. P. Late Quaternary history and evolution of the cerrados as revealed by palynological records. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil – ecology and natural history of a neotropical savanna**. ed. New York: Columbia University Press, 2002. p. 33-50.

LOUZADA, J. N. C.; SCHIFFLER, G.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. Efeitos do fogo sobre a estrutura da comunidade de Scarabaeidae (Insecta, Coleoptera) na restinga da Ilha de Guriri-ES. In: 3º Congresso de Ecologia do Brasil, 1996, Brasil (Brasília, DF). **Anais...** Brasília, DF, 1996. p. 160-169.

LOUZADA, J. N. C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritívoros em ecossistemas tropicais: biodiversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: ed. UFLA, 2008. p. 309-332.

LYON et al. Fire Effects on Animal Populations. In: SMITH, J. K. **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna**. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, v. 42. 2000, 83 p.

MACHADO, R. B. **Estimativa de perda da área do Cerrado brasileiro**. Relatório Técnico não publicado, 2016.

MALMSTRÖM, A. et al. Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest. **Applied Soil Ecology**, v. 43, n. 1, p. 61-74, sep. 2009.

- MARAVALHAS, J.; VASCONCELOS, H. L. Revisiting the pyrodiversity–biodiversity hypothesis: long-term fire regimes and the structure of ant communities in a Neotropical savanna hotspot. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, n. 6, p. 1661-1668, jul. 2014.
- MARINI-FILHO, O. J. Distance-limited recolonization of burned Cerrado by leaf-miners and gallers in central Brazil. **Environmental Entomology**, v. 29, n. 5, p. 901-906, oct. 2000.
- MCCULLOUGH, D. G.; WERNER, R. A.; NEUMANN, D. Fire and insects in northern and boreal forest ecosystems of North America. **Annual Review of Entomology**, v. 43, n. 1, p. 107-127, 1998.
- MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade do solo em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 42, n. 7, p. 359-360, 1990.
- MENDONÇA, R. C. et al. Flora vascular do bioma cerrado: checklist com 12356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. v. 2. ed. [S.l.], Embrapa Cerrados. 2008.
- MILHOMEN, M. S. **A fauna de Scarabaeidae sensu stricto (Coleoptera: Scarabaeoidea) do Cerrado de Brasília, DF: Variação anual, efeito do fogo, da cobertura vegetal**. 2003. 92 p. Tese (Doutorado em Biologia Animal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- MILHOMEM, M.; VAZ-DE-MELLO, F.; DINIZ, I. R. Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 11, p. 1249-1256, 2006.
- MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna**. ed. New York: Columbia University Press, 2002. p. 51-68.
- MIRANDA, H. S.; SATO, M. N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 93-105.
- MIRANDA, H. S.; NETO, W. N.; NEVES, B. M. C. **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: resultados do projeto Fogo**. Brasília, DF: IBAMA, 2010.
- MISTRY, J. Decision-making for fire use among farmers in savannas: an exploratory study in the Distrito Federal, central Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 54, n. 4, p. 321-334, december. 1998.
- MISTRY, J. **World savannas: ecology and human use**. Great Britain: Pearson Education Limited, London: Prentice Hall, 2000. p. 344.
- MORAIS, H. C.; BENSON, W. W. Recolonização de vegetação de Cerrado após queimada, por formigas arborícolas. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 48, n. 3, p. 459-466, 1988.
- MORGADO, R.; MOREIRA, F. Efeitos do Fogo na Fauna. In: MOREIRA, F. et al. **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas**. [S.l.], Isa Press, 2010. 323 p.
- MOREIRA, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 4, p. 1021-1029, jul. 2000.
- MOURA, J. M. **Impacto do fogo sobre a microbiota edáfica em diferentes fitofisionomias do pantanal em Mato Grosso**. 2007. 97 p., il. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agricultura Tropical)- Universidade Federal do Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Mato Grosso, 2007.

- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, february. 2000.
- NAVES, M. A. Efeito do fogo na população de formigas (Hymenoptera-Formicidae) em cerrado do Distrito Federal. In: 3º Congresso de Ecologia do Brasil, 1996, Brasil, (Brasília, DF). **Anais...** Brasília, DF, 1996. p. 170-177.
- NICHOLS, E. et al. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, Essex, v. 141, n. 6, p. 1461-1474, 2008.
- NEW, T. R. Insect Responses to Fires. In: **Insects, Fire and Conservation**. [S.l.], Springer, Cham, 2014. p. 21-57.
- NUNES, C. A. et al. Fire? They don't give a dung! The resilience of dung beetles to fire in a tropical savanna. **Ecological Entomology**, in press, 2018.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER J. A. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In: OLIVEIRA P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-120.
- PARR, C. L. et al. Savanna fires increase rates and distances of seed dispersal by ants. **Oecologia**, v. 151, n. 1, p. 33-41, february. 2007.
- PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. A burning story: the role of fire in the history of life. **Bioscience**, v. 59, n. 7, p. 593-601, jul. 2009.
- PAUSAS, J. G.; PARR, C. L. Towards an understanding of the evolutionary role of fire in animals. **Evolutionary Ecology**, v. 32, n. 2/3, p. 113-125, jun. 2018.
- PELLEGRINI, A. F. A. et al. Fire alters ecosystem carbon and nutrients but not plant nutrient stoichiometry or composition in tropical savanna. **Ecology**, v. 96, n. 5, p. 1275-1285, may. 2015.
- PEREIRA, R. S.; NAPPO, M. E.; REZENDE, A. V. Prevenção de incêndios florestais e uso do fogo como prática silvicultural. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, **Comunicações Técnicas Florestais**, v. 9, n. 2, p. 60, 2007.
- PEREIRA, P.; UBEDA, X.; MARTIN, D. Heavy metals released from leaf litter exposed to different fire temperatures. A laboratory experiment. **Sustainable Development Strategy and Practise**, v. 1, n. 5, p. 137-154, 2011.
- PEREIRA, P. et al. Spatial models for monitoring the spatio-temporal evolution of ashes after fire—a case study of a burnt grassland in Lithuania. **Solid Earth**, v. 4, n. 1, p. 153-165, may. 2013.
- PIEROZZI, M. **Avaliação do efeito do fogo sobre a riqueza e abundância de protozoários em um solo do Cerrado (Reserva Legal de Cerrado no município de São Carlos –Campus UFSCar – SP)**. 2013. 59 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011.
- PRADA, M.; MARINHO-FILHO, J. Effects of fire on the abundance of Xenarthrans in Mato Grosso, Brazil. **Austral Ecology**. v. 29, n. 5, p. 568-573, jan. 2004.
- PRYKE, J. S.; SAMWAYS, M. J. Differential resilience of invertebrates to fire. **Austral Ecology**, v. 37, n. 4, p. 460-469, oct. 2012.

- RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, n. 6, p. 675-684, 2000.
- REDIN, M. et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 1998. p. 151-212.
- RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest: an ecological study**. Cambridge: Cambridge University Press, 1952. 450 p.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L.; FERRAZ-VICENTINI, K. R. Fire in the Cerrado 32,000 Years ago. **Current Research in the Pleistocene**, v. 11, p. 85-87, 1994.
- SANTOS-HEREDIA, C; ANDRESEN, E. Upward movement of buried seeds: another ecological role of dung beetles promoting seedling establishment. **Journal of Tropical Ecology**, v. 30, n. 5, p. 409-17, aug. 2014.
- SATO, M. N. **Efeito a longo prazo de queimadas prescritas na estrutura da comunidade de lenhosas da vegetação do Cerrado sensu stricto**. 2003. Dissertação de mestrado - Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- SCHMIDT, I. B. et al. Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 55-70, 2016.
- SCHOWALTER, T. D. **Insect ecology: an ecosystem approach**. [S.l.], Academic Press, 774 p., 2016.
- SMITH, B. W.; DABBERT, B. C.; VERBLE, R. M. Prescribed Fire Effects on Rangeland Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeinae, Aphodiinae) in the Southern Great Plains. **Rangeland Ecology & Management**, v. 72, n. 1, p. 120-125, jan. 2019.
- SILVA, D. M. et al. Os efeitos dos regimes de fogo sobre a vegetação de Cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: considerações para a conservação da diversidade. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 26-39, 2011.
- SPENCER, C. N.; GABEL, K. O.; HAUER, F. R. Wildfire effects on stream food webs and nutrient dynamics in Glacier National Park, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 178, n. 1/2, p. 141-153, jun. 2003.
- SPERA, S. T. et al. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro no cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1817-1824, 2000.
- SWENGEL, A. B. A literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat. **Biodiversity and Conservation**, v. 10, n. 7, p. 1141-1169, jul. 2001.
- TISSIANI, A. S.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; CAMPELO-JÚNIOR, J. H. Dung beetles of Brazilian pastures and key to genera identification (Coleoptera: Scarabaeidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 401-418, 2017.
- TUBELIS, D. P. Bird foraging in Anacardium patches in central brazilian fire breaks: relationship between flock size and patch size. **Ornitologia Neotropical**, v. 20, n. 3, p. 421-230, jan. 2009.

VASCONCELOS, H. L. et al. Dynamics of the leaf-litter arthropod fauna following fire in a neotropical woodland savanna. **PloS One**, v. 4, n. 11, p. e7762, nov. 2009.

VAZ-DE-MELLO, F. Z. **Scarabaeinae in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD**. 2018. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/127498>>. Acesso em: 06 dez. 2018.

VULINEC, K. Dung beetle communities and seed dispersal in primary forest and disturbed land in Amazonia. **Biotropica**, v. 34, n. 2, p. 297-309, mar. 2002.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. 2006. 373 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

WURMITZER, C. et al. Attraction of dung beetles to herbivore dung and synthetic compounds in a comparative field study. **Chemoecology**, v. 27, n. 2, p. 75-84, april. 2017.

YKOYAMA, K et al. Nitrogen mineralization and microbial populations in cow dung, dung balls and underlying soil affected by paracoprid dung beetles. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. 7, p. 649-653, 1991.

CAPÍTULO I

Efeito da presença de cinzas sobre a resposta olfativa de *Dichotomius bos* (Coleoptera: Scarabaeinae)

RESUMO

O fogo é o principal responsável por alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do Cerrado. As cinzas são um dos subprodutos produzidos pelas queimadas e possuem uma série de componentes, que presentes no ambiente, podem ter efeitos importantes sobre a biota do Cerrado, principalmente sobre a macrofauna dos solos onde é depositada. Dentre a macrofauna associada aos solos, encontram-se os escarabeíneos. Pesquisas avaliando o efeito das cinzas sobre o comportamento e a sobrevivência desses organismos são escassas. Nesse contexto, os objetivos deste estudo foram: avaliar se as cinzas interferem na concentração de compostos voláteis emitidos pelas fezes; e avaliar se os voláteis liberados pelas cinzas interferem na percepção do recurso alimentar por escarabeíneos da espécie *Dichotomius bos*. Os besouros foram coletados com *pitfall traps*, iscadas com fezes, em áreas de Cerrado. Para avaliar a concentração dos compostos emitidos pelas fezes suínas, os voláteis das amostras fecais com e sem cinzas foram coletados por SPME (*solid-phase microextraction*) e analisados em um cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chamas (GC-FID). Para testar a resposta olfativa dos besouros aos odores de fezes e cinzas, um olfatômetro de quatro vias foi utilizado. Foram realizados dois testes independentes: teste I, contendo 3 controles (sem fonte de odor) e 1 tratamento contendo fezes sem cinzas; e teste II, contendo: 1 controle; 1 tratamento contendo fezes+cinzas; 1 tratamento contendo somente cinzas; e 1 tratamento contendo somente fezes. Cada teste foi composto por 40 besouros distribuídos em grupos com quatro indivíduos em cada repetição. Os resultados do GC-FID mostraram que as cinzas diminuíram drasticamente a concentração da maioria dos compostos voláteis emitidos pelas fezes. No entanto, apesar dessa redução, a concentração dos voláteis ainda se manteve acima do limiar de resposta dos besouros, sendo estes igualmente atraídos no olfatômetro a odores fecais com e sem cinzas. Este trabalho mostrou que os besouros pertencentes à espécie *Dichotomius bos* estão bem adaptados às condições pós-fogo do Cerrado. A compreensão da resposta comportamental dos escarabeíneos a esse tipo de distúrbio pode ser útil na proposição e manutenção de estratégias de manejo do fogo para a conservação da biodiversidade do Cerrado.

Palavras chave: Localização do recurso. Besouro rola-bosta. Cerrado.

ABSTRACT

The fire is the principal responsible for changing the physical, chemical and biological propriety of the Cerrado. The ashes are one of the by-products produced during the burnings and these substances has a number of components that present in the environment may have significant effects about the biota of the Cerrado, especially on the macrofauna of soils where it is deposited. Among the macrofauna associated with soil, stand out the dung beetles. Researches evaluated the effect of the ashes on the behavior and survivals of these organisms are scare. In this context, the aims of the present study were: evaluated if the ashes interfere on the volatiles compounds concentrations emitted by faeces; and evaluated if the volatiles emitted by ashes interfere on perception the food resources by the *Dichotomius bos* beetles species. The beetles were captured with *pitfall traps* baited with faeces, in Cerrado areas. To evaluate the concentration of the compounds emitted by pigs dung, the volatiles of the faecal samples with and without ashes were collected by SPME (*solid-phase microextraction*) and analyzed in a gas chromatograph with flame ionization detector (GC-FID). To evaluate the olfactory response of beetles to odors faeces and ashes, a four-armed olfactometer was used. Were performed two independent tests: Test I, containing 3 control treatments (without odor source) and 1 treatment with faeces without ashes; and test II, containing: 1 control (without odor source); 1 treatment containing faeces + ashes; 1 treatment containing only ashes; and 1 treatment containing only faeces. Each test was compost by 40 beetles distributed in groups with four individuals in each repetition. The results of CG showed that the ashes drastically decreases of the majority the volatiles compounds concentration emitted by faeces. However, despite of this reduction, the volatiles concentration still remained above the response threshold of the beetles, being the beetles equally attractive on olfactometer by the odors of faeces with and without ashes. This work showed the *Dichotomius bos* beetles species they are well adapted on the post-fire conditions of the Cerrado. The understanding the behavior responses to this dung beetles to this kind of disturbance, it might be useful on the proposition and on maintenance of the management strategies of the fire for the biodiversity conservation of the Cerrado.

Keywords: Resource localization. Dung beetles. Cerrado.

1 INTRODUÇÃO

O fogo é um distúrbio natural importante em diversos ecossistemas ao redor do mundo (FIDELIS; PIVELLO, 2011). No Cerrado neotropical, evidências fósseis mostram que o fogo está presente nesse ambiente a milhares de anos (LEDRU, 2002; SIMON et al., 2009). Como consequência do efeito evolutivo do fogo, muitos dos processos ecossistêmicos do Cerrado dependem da ação das queimadas para a sua manutenção (DURIGAN; RATTER, 2016).

As queimadas que ocorrem no Cerrado podem ser de origem natural ou antrópica (ARRUDA et al., 2018). Incêndios naturais são provocados em grande maioria por raios, sendo mais frequentes na estação chuvosa (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000). Os incêndios antrópicos, no entanto, são provocados de forma acidental ou intencional, durante a estação seca ou no início e final da estação chuvosa (BRITO, 2014).

Devido à pressão seletiva exercida pelo fogo, a biota do Cerrado tem sido considerada adaptada aos regimes de queima e características morfológicas e fisiológicas dos organismos associadas aos regimes de fogo podem ser observadas, sobretudo, na comunidade vegetal (EITEN, 1972; KEELEY et al., 2011). Apesar dos efeitos do fogo sobre a comunidade vegetal do Cerrado serem relativamente bem conhecidos (ARRUDA et al., 2018), o mesmo não acontece para os animais. Embora existam várias pesquisas envolvendo diferentes táxons animais (BRIANI et al., 2004; CANEDO-JUNIOR, 2016; FARIA; LIMA; MAGNUSSOM, 2004; FILHO et al., 2012; LEITE, 2007), há ainda a necessidade de uma melhor compreensão dos efeitos do fogo sobre a fauna (PAUSAS; PARR, 2018; ARRUDA et al., 2018).

O fogo pode afetar direta ou indiretamente a fauna do Cerrado (MORGADO; MOREIRA, 2010). Efeitos diretos são sentidos imediatamente e provocam geralmente a morte dos organismos por exposição ao calor e a fumaça, além de gerar a migração forçada das populações. Os efeitos indiretos, no entanto, se dão a médio e a longo prazo, através de mudanças na estrutura do habitat e na disponibilidade de recursos (CALCATERRA et al., 2014; ELIA et al., 2016; LOVE et al., 2016).

Dentre as principais alterações provocadas no ambiente imediatamente após a passagem do fogo, estão a formação de nuvens de fumaça e a deposição de espessa camada de cinzas sobre os solos (COUTINHO, 2000). As cinzas podem ser constituídas por variadas substâncias que vão desde nutrientes minerais como Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K), a hidrocarbonetos (HPAs) e fenóis (PEREIRA; UBEDA; MARTIN, 2011).

Estudos recentes têm demonstrado que as cinzas afetam diretamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BRITO, 2014; GABET; STERNBERG, 2008;

PEREIRA et al., 2014). Essas substâncias altamente alcalinas são capazes de reagir com as propriedades do solo alterando o pH e influenciando sua capacidade de retenção de água e nutrientes (PEREIRA; UBEDA; MARTIN, 2011). Além da alcalinidade, as cinzas também possuem metais pesados potencialmente tóxicos que ficam suspensos no ar (SHAW, 1999). Dessa forma, devido à grande potencialidade do efeito dessas substâncias sobre os solos, sua influência sobre a micro e a microbiota associada a este também precisa de atenção.

Dentre os organismos que habitam os solos do Cerrado, os besouros rola-bostas (Coleoptera: Scarabaeinae) destacam-se por alta diversidade de espécies encontradas (LOUZADA, 2008; MILHOMEM; VAZ-DE-MELLO; DINIZ, 2003). Os rola-bostas são detritívoros e se alimentam principalmente de matéria orgânica em decomposição, como fezes, carcaças e frutos apodrecidos (HALFFTER; MATTHEWS, 1996). A localização e seleção dos recursos alimentares pelos escarabeíneos se dão quase que exclusivamente por meio do olfato (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; MESQUITA FILHO, 2009). O alimento depositado sobre o solo entra em processo de decomposição e durante esse processo, são formadas plumas de odor contendo compostos voláteis atrativos, que são detectados pelas sensilas presentes nas antenas dos besouros (DORMONT et al., 2007; DORMONT; EPINAT; LUMARET, 2004; MORAES et al., 2008; SALOMÃO et al., 2018; STARVET et al., 2014; WURMITZER et al., 2017).

A rápida localização e utilização do recurso pelos besouros é extremamente importante, uma vez que esses organismos utilizam um alimento efêmero com rápido poder de deterioração (HANSKI; KRIKKEN, 1991; MESQUITA FILHO, 2009). Em áreas abertas de savana e Cerrado, por exemplo, devido à ausência de barreiras físicas no ambiente possivelmente ocasionadas pela remoção da vegetação pelo fogo, o processo de deterioração do recurso pode ser acelerado e as plumas de odor do recurso podem se propagar mais rapidamente, além disso, devido à maior exposição das fezes às condições microclimáticas pós-fogo sua atratividade pode ser modificada (HANSKI; CAMBEFORT, 1991). Segundo Correa et al. (2016), a propagação e emissão dos compostos voláteis liberados pelos recursos podem ser afetadas por diversos fatores, incluindo o tipo de vegetação do local, a estrutura do habitat, bem como, a presença de outras substâncias odoríferas no ambiente.

Como as cinzas estão presentes no ambiente por longos períodos de tempo após o fogo (PEREIRA et al., 2013), seja em sua forma sólida sobre a superfície dos solos ou como micropartículas suspensas no ar (COUTINHO, 2000), essas substâncias potencialmente podem entrar em contato com as fezes recém depositadas pela fauna local. Tais recursos fecais podem então, ter sua atratividade diretamente afetada pelas cinzas e, além disso, com

a presença de voláteis de cinzas em suspensão no ambiente os besouros podem ter um desafio adicional para conseguir detectar e localizar o recurso.

A compreensão dos eventuais papéis dos compostos químicos presentes no ambiente após o fogo sobre o comportamento de forrageio dos besouros é extremamente importante, uma vez que tal recurso é essencial à sobrevivência desses organismos (BERGLUND et al., 1993). Além disso, ao utilizarem as fezes esses besouros desempenham importantes funções no ambiente tais como, ciclagem de nutrientes, aeração e incorporação de matéria orgânica no solo e dispersão secundária de sementes (NICHOLS et al., 2008), consideradas essenciais para a regeneração da vegetação após a queimada.

Apesar de serem resilientes ao fogo do Cerrado (NUNES et al., 2018), ainda existem inúmeras lacunas a serem preenchidas sobre a resposta dos escarabeíneos a esse tipo de distúrbio. Sendo assim, as informações obtidas sobre esses organismos podem ser úteis para a criação e proposição de estratégias de manejo do fogo para a conservação da biodiversidade do Cerrado.

OBJETIVOS

- i. Avaliar se as cinzas provenientes da queima da vegetação interferem na concentração de compostos voláteis liberados pelas fezes durante seu processo de decomposição;
- ii. Avaliar se os voláteis liberados pelas cinzas interferem na percepção do recurso alimentar por besouros escarabeíneos pertencentes à espécie *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846).

HIPÓTESES

- i. As cinzas diminuem a concentração de compostos voláteis emitidos pelas fezes;
- ii. Os voláteis liberados pelas cinzas após a queima da vegetação diminuem a atratividade das fezes interferindo de forma negativa na percepção do recurso pelos besouros.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Influência de cinzas sobre a concentração de compostos voláteis emitidos por fezes suínas

2.1 Coleta e preparação das amostras

As massas fecais foram coletadas frescas, de suínos no setor de suinocultura do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Lavras-MG. Os suínos foram tratados com ração específica e as fezes foram coletadas somente de indivíduos que não haviam sido submetidos ainda a qualquer tipo de experimentação ou tratamento

químico. Logo após a coleta, as fezes foram armazenadas em laboratório a -18°C dentro de potes plásticos fechados até a realização das análises. As cinzas utilizadas no experimento foram obtidas através da queima de material vegetal (capim, folhas, troncos, etc) provenientes de áreas de Cerrado próximas a Lavras-MG e permaneceram armazenadas em temperatura ambiente, em potes de alumínio fechados. Antes da extração dos compostos, as amostras de fezes e cinzas foram depositadas em frascos de vidro (20 ml) e pesadas em balança analítica.

2.2 Extração dos compostos de fezes e cinzas

Voláteis químicos orgânicos (VOCs) de amostras fecais podem ser quantificados e identificados através da extração de metabólitos em laboratório (READE et al., 2014). Para coletar e quantificar os compostos voláteis do *headspace* das fezes e das cinzas a técnica de microextração em fase sólida (SPME-GC) foi utilizada. Foi utilizado aproximadamente 1g de cada amostra, sendo um total de cinco amostras para cada tratamento: tratamento I (fezes suínas); tratamento II (fezes suínas misturadas a cinzas, proporção 1:1); tratamento III (cinzas); e tratamento IV controle (sem amostra) (TABELA 1). O frasco (capacidade de 20 ml) com tampa de septo contendo uma amostra de cada tratamento foi incubado a 40°C , por 20 min, para extração dos compostos. Após isto, houve a exposição da fibra de SPME do tipo PDMS (polydimethylsiloxane) no interior do frasco por 20 min. A fibra de SPME foi introduzida manualmente em um suporte suspenso acima da amostra. A coluna GC utilizada foi Rtx-5MS com altura de 30 m x 0,25 mm de diâmetro x 0,25 μm . Após o processo de exposição à amostra, a fibra foi levada ao injetor do cromatógrafo gasoso GC (QP 2010) a 250°C por 5 min para dessorção dos compostos. Entre cada processo de dessorção, a fibra era exposta a gás hélio por 1 min para limpeza dos compostos. O tempo total da corrida foi de 41 min. As análises de todas as amostras foram realizadas no Laboratório de Cromatografia em Fase Gasosa GC/FID e GC/MS (CAPQ) do Departamento de Química-DIQ, da Universidade Federal de Lavras-UFLA.

Tabela 1 - Amostras de fezes e cinzas utilizadas para as análises no cromatógrafo gasoso (GC).

| Amostras | Tratamentos | | | |
|----------|--------------|-----------------------|---------------|----------|
| | Fezes (g) | Fezes + Cinzas (g) | Cinzas (g) | Controle |
| 1 | 1,0084 | 2,0126 | 1,0017 | -- |
| 2 | 1,0016 | 2,0091 | 1,0092 | -- |
| 3 | 1,0018 | 2,0041 | 1,0053 | -- |
| 4 | 1,0047 | 2,0003 | 1,0001 | -- |

| | | | | |
|---|--------|--------|--------|----|
| 5 | 1,0097 | 2,0096 | 1,0090 | -- |
|---|--------|--------|--------|----|

Legenda: Tratamento I (Fezes), Tratamento II (Fezes + Cinzas), Tratamento III (Cinzas), Tratamento IV controle (sem amostra). Os valores em cada linha da tabela indicam a quantidade em gramas (g) utilizada nas análises para cada tratamento. Fonte: Do autor (2019).

Amostragem dos besouros para a análise da reposta olfativa

2.3 Áreas de estudo

As áreas de coleta estão localizadas a 9,6 km do município de Carrancas, Minas Gerais, Brasil (21°25'56.1" S, 044°39'15.8" O). A altitude da região é em torno de 981 a 1046 m. Segundo a classificação Köppen-Geiger o clima da região é Cwa, tropical de altitude, com verões amenos e úmidos (média máxima anual 26°C) e invernos frios e secos (média mínima anual 13°C) (MOURA; ZAIDAN, 2017). A precipitação média anual da região é de 1483 mm com estação chuvosa entre setembro e abril e estação seca de maio a agosto (OLIVEIRA-FILHO; CARVALHO; FONTES, 2004; PEREIRA, 2003). A temperatura média anual é em torno de 20°C (SIMÕES; KINOSHITA, 2002).

A paisagem de estudo é composta por áreas de campo rupestre, campo limpo, matas de galeria e campos naturais de gramíneas, bem como, outras fisionomias características do Cerrado (SIMÕES; KINOSHITA, 2002). Além das áreas naturais da região, existem ainda áreas de pastagens introduzidas (RODRIGUES; CARVALHO, 2001).

2.4 Coleta dos besouros vivos

As coletas foram realizadas durante o mês de fevereiro de 2018, em seis áreas de campo limpo e pastagens introduzidas. Para a captura dos besouros vivos, foram utilizadas armadilhas de queda do tipo *pitfall*, enterradas no nível do solo. Essas armadilhas eram compostas por uma garrafa plástica de dois litros cortada na porção superior e colocada em posição invertida dentro da garrafa, em forma de funil (APÊNDICE A). Um copo descartável de 50 ml foi colocado suspenso no centro do funil, contendo aproximadamente 30g de isca atrativa (fezes humanas e fezes suínas homogêneas numa proporção de 3:2). Na parte inferior da garrafa foi colocado terra da própria área de coleta para acomodação dos besouros (APÊNDICE A). As armadilhas foram protegidas da chuva com uma tampa plástica suspensa acima do solo.

Foram instaladas 80 armadilhas aleatoriamente distribuídas, distanciadas pelo menos 50 m umas das outras. As armadilhas eram conferidas em campo a cada 24 horas, quando os besouros capturados eram retirados e a isca trocada para a realização de uma nova coleta. Esse procedimento foi repetido até que se atingisse uma quantidade suficiente de indivíduos para posterior experimentação em laboratório.

A triagem e a identificação dos besouros capturados foram realizadas no Laboratório de Ecologia e Conservação de Invertebrados (LEGIN) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A espécie escolhida para a realização dos experimentos foi a mais abundante nas coletas, sendo *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846) com 200 indivíduos. A sexagem de machos e fêmeas para esta espécie foi realizada por avaliação visual de características base para a diferenciação entre os sexos, como o formato dos chifres e o grau de declividade do pronoto (informação verbal)¹. A confirmação da identificação ocorreu posteriormente aos experimentos através da extração do edeago, órgão sexual dos machos.

2.5 Organismo estudado

Os *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846) possuem hábito alimentar coprófago, ou seja, se alimentam principalmente de fezes. Esses besouros são fortemente associados a fezes bovinas, no entanto, também se alimentam de fezes de outros vertebrados, sobretudo onívoros (LOUZADA; SILVA, 2009). Os *D. bos* são paracoprídeos e escavam túneis nas proximidades ou logo abaixo dos depósitos fecais (LOUZADA, 2008). Por possuírem tal comportamento, esses besouros são extremamente importantes para o ambiente onde estão inseridos, realizando funções ecológicas importantes, como remoção e incorporação de matéria orgânica no solo, aeração do solo, influência sobre populações de parasitas e remoção de sementes (LOUZADA, 2008). Os indivíduos de *D. bos* possuem coloração preta e o tamanho do corpo pode variar de 20,2 a 24,0 mm. Esses besouros apresentam atividade noturna e crepuscular e são abundantes em habitats abertos, sendo comumente encontrados em áreas de pastagem do Brasil e países vizinhos (TISSIANI; VAZ-DE-MELLO; CAMPELO-JÚNIOR, 2017).

2.6 Manutenção dos besouros em laboratório

Os indivíduos coletados foram mantidos vivos em potes plásticos preenchidos com aproximadamente 700g de solo umedecido. Foram colocados cinco indivíduos de *D. bos* por pote. Os besouros foram alimentados a cada três dias com aproximadamente 30g de fezes suínas. No entanto, para a realização dos experimentos, esses besouros passaram por um período de sete dias de privação total do alimento. Para adaptação às condições laboratoriais, os besouros permaneceram por um período de 10 dias antes da realização dos experimentos, em sala climatizada sob condições constantes de umidade $65\pm 10\%$, temperatura $25\pm 2^\circ\text{C}$ e foto período (12h). Os experimentos de olfatométria foram realizados

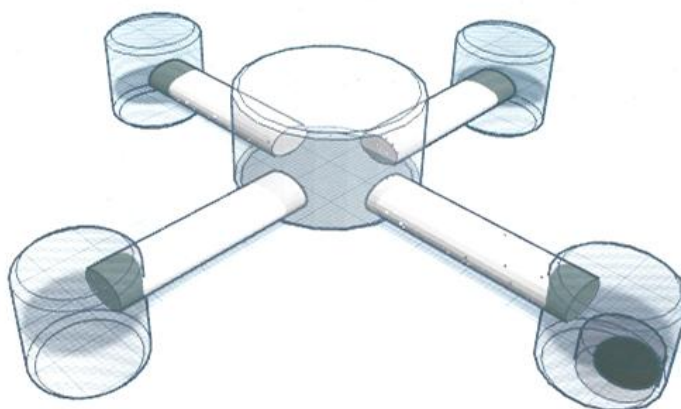
¹ Informação verbal fornecida pelo taxonomista Dr. Fernando Zaguri Vaz-de-Mello. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Jan. 2018.

em uma sala diferente da utilizada para a criação, devido ao forte cheiro oriundo das fezes utilizadas para alimentar os besouros. Esse procedimento foi adotado para evitar que tais odores externos tivessem qualquer interferência nos resultados.

2.7 Desenho experimental para o olfatômetro

Para a avaliação comportamental dos besouros em condições laboratoriais, um olfatômetro adaptado de Verdú et al. (2007) foi desenvolvido para o estudo. O olfatômetro foi composto por quatro braços conectados a uma câmara central de acrílico de formato circular com 23 cm de diâmetro e 9 cm de altura (FIGURA 1, APÊNDICE B). Uma bomba a vácuo foi conectada a um orifício na parte inferior dessa câmara, puxando o fluxo de ar para o centro da mesma (APÊNDICE B). Quatro furos fixaram horizontalmente os braços do olfatômetro e cada braço foi constituído por um tubo cilíndrico de PVC com 50 mm de diâmetro e 9 cm de comprimento (FIGURA 1, APÊNDICE B). Todas as conexões foram unidas com cola epóxi (inodora após secagem) e a cobertura da câmara central composta de aço inox foi coberta na sua periferia com vaselina sólida para permitir a selagem completa do sistema. Em cada uma das extremidades dos tubos havia um recipiente para a captura dos besouros que respondessem positivamente aos testes (FIGURA 1, APÊNDICE B). As amostras de cada tratamento foram depositadas em potes plásticos de 50 ml colocados no interior de cada recipiente de captura.

Figura 1 - Desenho esquemático do olfatômetro de quatro vias utilizado para avaliar a resposta olfativa dos besouros.



Legenda: Esta ilustração foi feita através do site <http://www.tinkercad.com>, acessado em Nov, 2018.
Fonte: Do autor (2019).

Bioensaios

2.8 Teste I: Eficácia do olfatômetro

Uma bateria de 10 experimentos foi realizada para testar a eficácia do olfatômetro desenvolvido para o estudo e para avaliar a resposta olfativa dos besouros frente aos odores de fezes suínas sem cinzas. Foram utilizados 40 indivíduos de *D. bos* em razão sexual 3:1 (fêmeas e machos). Para a realização dos experimentos esses besouros foram mantidos sem acesso ao alimento por um período de sete dias. Os besouros foram introduzidos em grupos com quatro indivíduos cada (totalizando 10 grupos) na câmara central do olfatômetro. Cada grupo permaneceu dentro do dispositivo por um período de 2h, tendo a oportunidade de escolha entre: três tratamentos controle (sem fonte de odor) e um tratamento contendo 3g de fezes suínas. Ao final do período de 2h, as respostas dos indivíduos eram quantificadas, sendo classificadas em: escolha da isca (quando o besouro se encontrava no interior do pote coletor referente ao braço contendo as fezes); escolha do controle (quando o besouro se encontrava no interior dos potes coletores referentes aos braços vazios); e não resposta (quando o besouro permanecia enterrado ou parado na superfície da câmara central). O experimento foi realizado em sala fechada sob ausência de luz artificial, no período crepuscular-noturno entre 17h e 22:00h, horário de maior atividade da espécie. Cada grupo de besouros foi testado somente uma vez. Foram utilizadas e depositadas na câmara central do olfatômetro, aproximadamente 130g de vermiculita umedecida com água a temperatura de $\cong 30^{\circ}\text{C}$ para melhor acomodação e contato superficial pelos besouros durante o experimento. Esse substrato foi escolhido por ser inerte e não apresentar nenhum tipo de influência sobre os besouros. A cada rodada dos experimentos, as amostras de cada recipiente eram renovadas para as rodadas subsequentes. As amostras tiveram suas posições aleatorizadas para evitar a escolha de qualquer uma das entradas do olfatômetro por mecanismos de orientação desconhecidos dos indivíduos. O olfatômetro foi totalmente limpo com água e detergente neutro entre cada experimento com cada grupo de indivíduos. Ao final dos experimentos, os besouros foram congelados em freezer para a morte dos indivíduos. Após isso, estes besouros foram levados à estufa a 40°C por 48h para secagem, sendo acondicionados em mantas de algodão, etiquetadas e depositadas na coleção de referência do laboratório.

2.9 Teste II: Influência de cinzas sobre a percepção do recurso pelos besouros

Para avaliar se os voláteis emitidos pelas cinzas interferem na percepção do recurso alimentar pelos besouros, bem como, alteram o comportamento de forrageio dos indivíduos,

outra bateria de experimentos foi realizada no olfatômetro seguindo o mesmo protocolo acima citado. Foram utilizados 40 novos indivíduos de *D. bos*, sendo quatro por experimento (total de 10 grupos). Os experimentos foram compostos pelos seguintes tratamentos: tratamento I (controle, sem fonte de odor); tratamento II (3g de fezes suínas); tratamento III (3g de cinzas); tratamento IV (mistura de 3g de fezes suínas e 3g de cinzas). Ao final do período de 2h, as respostas dos indivíduos foram quantificadas, sendo classificadas em: escolha da isca (quando o besouro se encontrava no interior do pote coletor referente ao braço contendo as fezes); escolha das cinzas (quando o besouro se encontrava no interior do pote coletor referente ao braço contendo somente cinzas); escolha da isca com cinzas (quando o besouro se encontrava no interior do pote coletor referente ao braço contendo fezes e cinzas); escolha do controle (quando o besouro se encontrava no interior do pote coletor referente ao braço vazio); e não resposta (quando o besouro permanecia enterrado ou parado na superfície da câmara central). As cinzas utilizadas neste experimento foram às mesmas obtidas para os experimentos químicos acima citados.

2.10 Análises estatísticas

Amostras GC-FID

Para a realização das análises dos compostos voláteis coletados pelo cromatógrafo gasoso (GC-FID), os cromatogramas obtidos passaram inicialmente por uma prévia seleção visual, onde foram escolhidos os compostos voláteis mais representativos detectados nos tratamentos (fezes, fezes + cinzas, cinzas e controle). Durante a seleção visual uma amostra do tratamento contendo fezes foi descartada por conter um erro que provocou um deslocamento no tempo de retenção dos picos dos compostos voláteis. Tal erro impossibilitou, portanto que houvesse uma clara distinção dos compostos presentes na amostra em comparação com as demais amostras do mesmo tratamento. A quantificação dos compostos voláteis foi feita com base na área de cada pico detectado no cromatograma e para corrigir os efeitos do tamanho da área de todos os compostos voláteis, os valores de área individuais foram divididos por 1000.

Para verificar se houve diferenças na concentração total de cada composto volátil dentro das amostras nos tratamentos: fezes (N = 4) e fezes + cinzas (N = 5), os valores obtidos da média da área de cada composto das amostras foram comparados pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney, com intervalo de confiança de 95%. Além disso, foram calculados e comparados também as médias e o erro padrão da somatória total das áreas

para todos os compostos. As análises foram realizadas no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2016).

Para verificar se existia um gradiente de mudança na concentração dos compostos voláteis entre os tratamentos contendo fezes e fezes + cinzas, as áreas de todos os compostos selecionados foram ordenadas pela análise de componentes principais (PCA). A PCA foi realizada no programa Minitab.

Bioensaios olfatômetro

A análise do teste de eficácia do olfatômetro (Teste I) foi feita através da avaliação da diferença na proporção de escolha dos indivíduos entre o tratamento contendo fezes e os tratamentos controles (sem fonte de odor). Os dados obtidos foram submetidos à abordagem Bayesiana, considerando uma distribuição do tipo beta, uma vez que se tratava de dados de proporção. Foi assumida para o modelo, uma probabilidade de 25% de chance de escolha aleatória dos besouros pelos recipientes contendo fezes suínas e uma probabilidade de 75% de chance de escolha para os braços contendo os controles, sendo os parâmetros da distribuição, $a = 4,43$ e $b = 13,31$. Foi obtida, a partir de 1000 aleatorizações, a distribuição dos dados seguindo apenas os parâmetros pressupostos pelo modelo e a distribuição considerando os valores observados. Após isto, foi calculada a probabilidade dos dados obtidos se encaixarem nesse pressuposto e a probabilidade real dos indivíduos escolherem as fezes, dada a distribuição dos valores observados. Os dados classificados em não resposta não foram incorporados às análises.

A influência das cinzas na escolha do recurso (Teste II) foi testada avaliando as diferenças na proporção de escolha dos indivíduos entre os tratamentos: fezes, fezes contendo cinzas, cinzas e controle. Os dados obtidos também foram submetidos à abordagem Bayesiana com distribuição do tipo beta. A probabilidade de escolha assumida para cada tratamento foi de 25% e os parâmetros da distribuição foram $a = 4,43$ e $b = 13,31$. As distribuições para cada tratamento foram obtidas utilizando-se o mesmo valor acima citado e as comparações entre os tratamentos foram feitas considerando os valores observados. As diferenças e similaridades nas escolhas foram validadas através da sobreposição dos intervalos de confiança de 95%. Todas as análises foram realizadas no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2016).

3 RESULTADOS

3.1 Técnica de cromatografia gasosa GC-FID

De todos os compostos voláteis detectados nos cromatogramas (APÊNDICE C), 34 foram selecionados produzidos por ambas as fezes suínas com e sem cinzas (TABELA 2). Não foi encontrado nenhum dos compostos listados acima, no tratamento controle (sem amostra) e no tratamento contendo somente cinzas (APÊNDICE D). O resultado do teste de Mann-Whitney mostrou que há uma diferença estatística na concentração de compostos voláteis entre os tratamentos: fezes e fezes + cinzas ($W = 989$, $p < 0,001$). Além disso, observando os valores da média total das áreas de todos os compostos voláteis presentes nos dois tratamentos é possível notar que há uma redução de pelo menos 16 vezes do valor da média nos tratamentos contendo fezes + cinzas em comparação com os tratamentos contendo somente fezes (TABELA 2).

Tabela 2 - Compostos voláteis produzidos por fezes suínas com e sem cinzas. (continua).

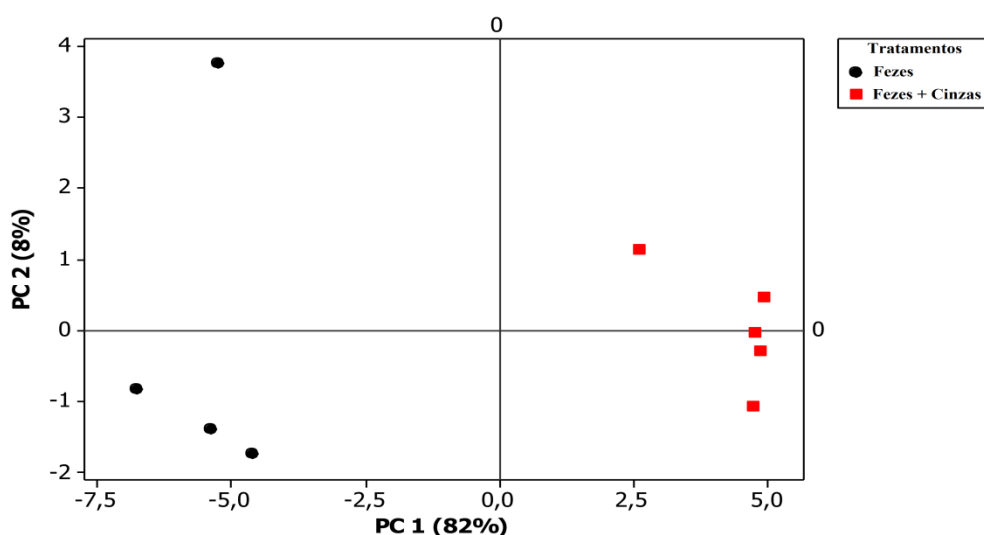
| Compostos | Tr | Tratamentos | |
|-----------|-------|-----------------|-----------------|
| | | Fezes | Fezes + Cinzas |
| | | Área | Área |
| 1 | 2,16 | 13.18 ± 4.18 | 6.14 ± 1.14 |
| 2 | 1,81 | 54.55 ± 25.62 | 3.21 ± 2.25 |
| 3 | 8,04 | 528.67 ± 261.41 | 35.47 ± 29.49 |
| 4 | 11,66 | 2997,2 ± 379,84 | 185,20 ± 115,03 |
| 5 | 7,19 | 10,01 ± 1,44 | - |
| 6 | 11,84 | 72,31 ± 15,19 | 5,20 ± 4,08 |
| 7 | 8,56 | 0,89 ± 0,30 | - |
| 8 | 10,93 | 5,84 ± 0,99 | 0,22 ± 0,22 |
| 9 | 9,42 | 5,81 ± 0,55 | - |
| 10 | 16,75 | 1087,5 ± 141,03 | 54,92 ± 29,84 |
| 11 | 24,06 | 543,76 ± 34,79 | 31,96 ± 20,46 |
| 12 | 14,13 | 4,65 ± 0,08 | 0,14 ± 0,14 |
| 13 | 17,65 | 6,87 ± 0,47 | 0,28 ± 0,19 |
| 14 | 15,29 | 6,70 ± 0,97 | 0,22 ± 0,22 |
| 15 | 15,58 | 1,96 ± 0,19 | 0,07 ± 0,07 |
| 16 | 15,68 | 3,48 ± 0,35 | 0,11 ± 0,11 |
| 17 | 22,09 | 4,28 ± 0,46 | 0,37 ± 0,18 |
| 18 | 16,06 | 6,10 ± 0,30 | 0,25 ± 0,25 |
| 19 | 26,58 | 13,30 ± 2,33 | 1,36 ± 0,60 |
| 20 | 16,88 | 1,82 ± 0,55 | 0,06 ± 0,06 |
| 21 | 27,33 | 15,07 ± 1,04 | 1,04 ± 0,38 |
| 22 | 20,82 | 11,0 ± 1,45 | 0,83 ± 0,67 |
| 23 | 17,41 | 2,19 ± 0,49 | 0,09 ± 0,09 |

| Tratamentos | | | |
|---------------------|-------|-----------------|-----------------|
| Compostos | Tr | Fezes | Fezes + Cinzas |
| | | Área | Área |
| 24 | 21,43 | 5,40 ± 0,48 | 0,35 ± 0,21 |
| 25 | 28,75 | 16,06 ± 1,78 | 1,63 ± 0,87 |
| 26 | 18,13 | 3,96 ± 0,43 | 0,29 ± 0,29 |
| 27 | 18,23 | 2,32 ± 0,27 | 0,18 ± 0,18 |
| 28 | 29,3 | 13,40 ± 1,56 | 1,33 ± 0,70 |
| 29 | 18,57 | 2,61 ± 0,37 | 0,25 ± 0,25 |
| 30 | 26,27 | 2,43 ± 0,19 | 0,33 ± 0,15 |
| 31 | 19,06 | 2,64 ± 0,37 | 0,17 ± 0,17 |
| 32 | 31,18 | 16,18 ± 2,19 | 2,20 ± 1,25 |
| 33 | 31,98 | 3,62 ± 0,55 | 0,93 ± 0,42 |
| 34 | 39,71 | 1,71 ± 0,27 | 1,70 ± 0,27 |
| Média total: | | 5467,7 ± 712,21 | 336,64 ± 187,70 |

Legenda: Tr = Tempo de retenção médio dos compostos de todas as amostras de ambos os tratamentos (fezes e fezes + cinzas). Os valores das colunas (Área) representam a média ± o erro padrão dos valores dos compostos voláteis encontrados nas amostras de fezes (N = 4) e fezes + cinzas (N = 5). Os traços (-) indicam que não há valores para o composto. Fonte: Do autor (2019).

O componente principal 1 da PCA explicou cerca de 82% da variação dos dados e o componente principal 2 explicou 8% (FIGURA 3). Juntos, tais componentes explicaram 90% da variação dos dados (FIGURA 3). Ao analisar o gráfico, nota-se que há um gradiente de mudança na concentração dos compostos voláteis entre os tratamentos fezes e fezes + cinzas e, além disso, os valores dos compostos estão mais próximos entre si dentro de cada tratamento do que entre ambos os tratamentos.

Figura 3 - Análise de componentes principais (PCA) dos 34 compostos voláteis detectados nas amostras de fezes suínas com e sem cinzas.



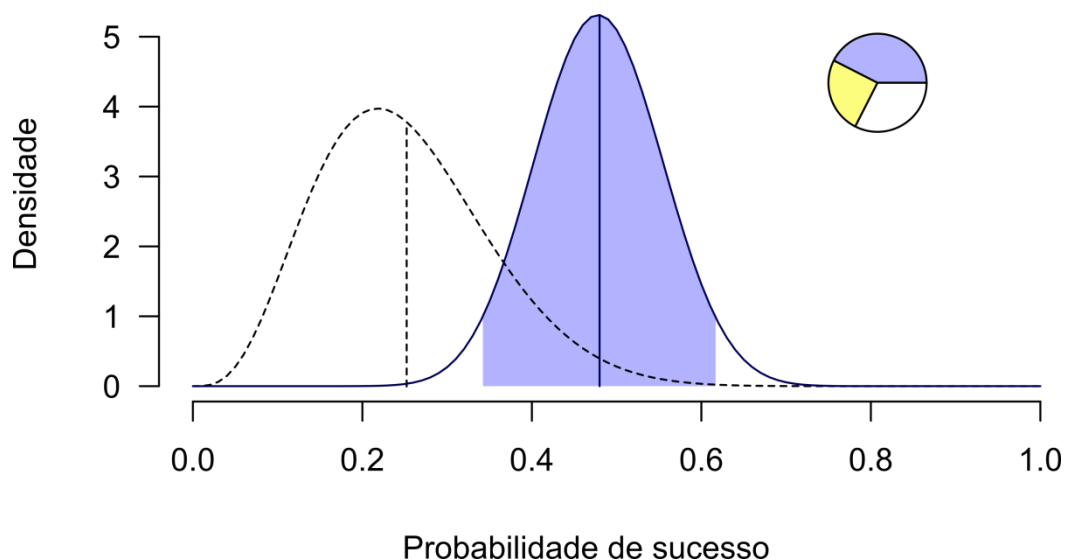
Legenda: Os círculos pretos representam as amostras contendo somente fezes (N = 4) e os quadrados vermelhos representam as amostras contendo fezes + cinzas (N = 5). O primeiro e o segundo eixo da PCA explicaram juntos 90% da variação total dos dados. Fonte: Do autor (2019).

3.2 Teste I: Eficácia do olfatômetro

Dos 40 indivíduos de *D. bos* introduzidos no olfatômetro, 17 escolheram os recipientes contendo fezes suínas, 10 escolheram os recipientes sem fonte de odor e 13 não escolheram nenhuma das opções, ou seja, permaneceram no centro do olfatômetro, enterrados sob a vermiculita ou na superfície (FIGURA 4).

Os dados obtidos no teste controle estão distribuídos a uma probabilidade de sucesso (escolha das fezes pelos besouros) de 48%, sendo esta probabilidade maior do que a esperada ao acaso (25%) (FIGURA 4), os intervalos de confiança variaram de 34% a 62%. Além disso, baseada nos valores observados, a chance de apenas 25% ou menos dos indivíduos escolherem as fezes foi extremamente baixa (<0,005%). Estes resultados indicam, portanto, que os besouros reconheceram e foram fortemente atraídos no olfatômetro pelos odores das fezes, quando comparados aos tratamentos sem fonte de odor (controles).

Figura 4 - Resposta olfativa de *Dichotomius bos* a odores emitidos por fezes suínas, em um olfatômetro de quatro vias.



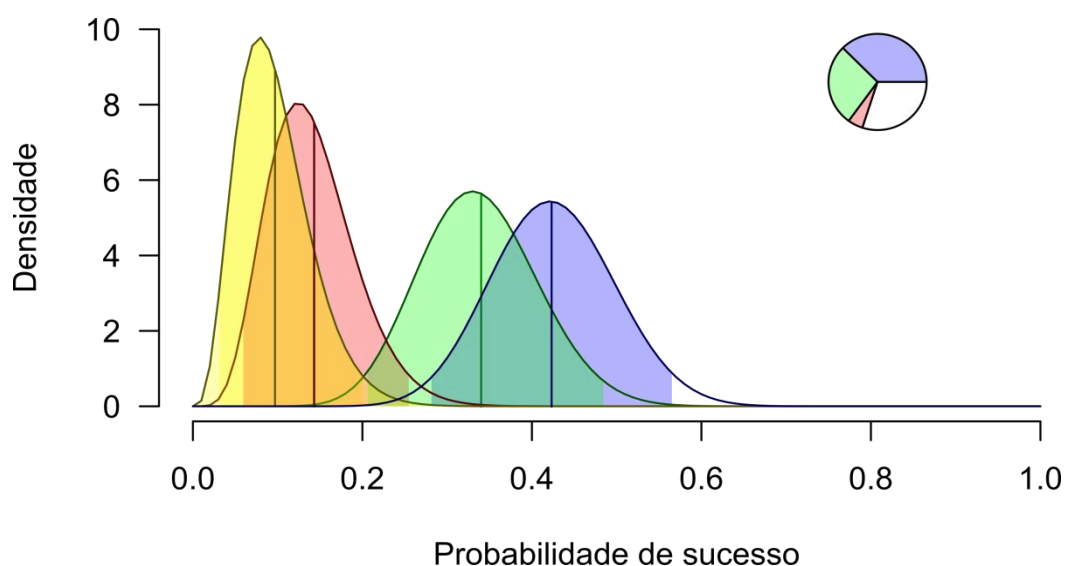
Legenda: O gráfico mostra a densidade de distribuição dos dados (y) e a probabilidade de sucesso (x) na escolha dos tratamentos pelos besouros. A curva tracejada indica a probabilidade de sucesso ao acaso assumida para a abordagem Bayesiana (25%) e a curva em azul indica a distribuição dos dados de escolha dos besouros pelo tratamento contendo fezes (0,48). A área sombreada em azul representa o intervalo de confiança de 95% (0,34 a 0,62). O gráfico em pizza representa o número total de besouros (N = 40) distribuídos entre os tratamentos: fezes (porção em azul), controle/sem fonte de odor (porção em amarelo) e não resposta (porção em branco). Fonte: Do autor (2019).

3.3 Teste II: Influência das cinzas sobre a percepção do recurso alimentar pelos besouros

Dos 40 indivíduos introduzidos no olfatômetro, 15 escolheram os recipientes contendo fezes suínas, 11 escolheram os recipientes contendo a mistura de fezes suínas com cinzas, 2 escolheram as cinzas, nenhum besouro escolheu o recipiente sem fonte de odor e 12 não escolheram nenhuma das opções (não resposta), ou seja, indivíduos que permaneceram parados na câmara central do olfatômetro, enterrados sob a vermiculita ou na superfície (FIGURA 5).

Os resultados indicaram que as cinzas não interferiram na atratividade das fezes e, conseqüentemente, na escolha do recurso pelos besouros, havendo, portanto, sobreposição dos intervalos de confiança entre o tratamento contendo fezes (28% a 57%) e o tratamento contendo fezes + cinzas (com intervalo de confiança de 21% a 46%) (FIGURA 5). O tratamento controle (sem fonte de odor) (3% a 19%) e o tratamento contendo somente cinzas (5,4% a 25%) (FIGURA 5) diferiram do tratamento contendo fezes. Mas ambos não diferiram entre si e do tratamento contendo fezes + cinzas. As proporções de escolha dos indivíduos entre cada tratamento, dentro da probabilidade assumida pelo modelo foram: 43% fezes; 33% fezes + cinzas; 14% cinzas; e 10% controle.

Figura 5 - Resposta olfativa de *Dichotomius bos* frente aos odores emitidos por fezes suínas x odores emitidos por fezes contendo cinzas.



Legenda: O gráfico mostra a densidade de distribuição dos dados (y) e a probabilidade de escolha dos besouros por cada tratamento (x), sendo: fezes (curva em azul), fezes + cinzas (curva em verde), cinzas (curva em vermelho) e controle/sem fonte de odor (curva em amarelo). O gráfico em pizza representa o número total de besouros (N = 40) distribuídos entre os tratamentos acima citados, incluindo os dados de não resposta (porção em branco). Fonte: Do autor (2019).

4 DISCUSSÃO

Este trabalho forneceu a primeira evidência experimental do efeito de condições pós-queimada sobre o comportamento de forrageio de besouros escarabeíneos pertencentes à espécie *Dichotomius bos* (Blanchard, 1846). As cinzas, subprodutos oriundos da queima da vegetação do Cerrado tiveram um papel negativo sobre a química das fezes, no entanto, não houve influência dessas substâncias sobre a atratividade do recurso e os besouros escarabeíneos foram capazes de localizar normalmente as fezes contendo cinzas.

Os indivíduos de *D. bos* foram fortemente atraídos aos odores de fezes suínas sem cinzas, oferecidas no olfatômetro. Isto se deve porque esses besouros possuem um sistema olfativo aguçado sendo capazes de localizar e discriminar entre diferentes odores, sobretudo os odores fecais (VERDÚ et al., 2007). Como os dados obtidos atingiram uma probabilidade de chance de escolha da isca de quase 50%, ou seja, estando fora do intervalo de 25% de escolha ao acaso, é possível assumir que os besouros não escolheram aleatoriamente os tratamentos, e que, portanto, o aparelho desenvolvido para o estudo funcionou corretamente. Olfatômetros de diferentes complexidades são muito utilizados para quantificar as respostas olfativas dos insetos a variadas fontes de odor (TURLINGS; DAVISON; TAMÒ, 2004). Dormont et al. (2004, 2007, 2010) utilizaram esse tipo de aparelho para avaliar a resposta olfativa de besouros coprófagos expostos a odores fecais e os resultados encontrados também foram positivos. Dessa forma, esta metodologia pode ser eficientemente utilizada em trabalhos envolvendo as repostas olfativas e comportamentais de besouros escarabeíneos.

Os resultados da extração de VOCs (voláteis químicos orgânicos) das amostras de fezes e cinzas neste trabalho mostraram que as fezes suínas sem cinzas produziram uma alta concentração de voláteis químicos. Tais voláteis oriundos da decomposição das fezes funcionam como códigos ou sinais atrativos importantes para a detecção e direcionamento dos besouros ao local do recurso (DORMONT et al., 2007; DORMONT; EPINAT; LUMARET, 2004; STAVERT et al., 2014). No entanto, o mesmo não foi encontrado para as amostras fecais contendo cinzas, onde se observou uma drástica redução na concentração dos compostos voláteis emitidos pelas fezes, redução esta que possivelmente se deu em decorrência de reações químicas com as cinzas. As cinzas são um subproduto da queima da vegetação, sendo depositadas sobre os solos do Cerrado, formando uma espessa e escura camada constituída por variadas substâncias (BRITO, 2014). Uma provável explicação para a diminuição da concentração da maioria dos compostos voláteis fecais pelas cinzas seria sua potencial capacidade em alterar o pH das fezes, tornando-o mais básico (NEARY;

RYAN; DEBANO, 2005; OLIVEIRA-FILHO et al., 2018) o que acarretaria em uma maior fixação das moléculas de odor no recurso impedindo a emissão de alguns voláteis.

As alterações na concentração de compostos voláteis das fezes provenientes de reações químicas com as cinzas podem ter implicações negativas sobre a localização do recurso bem como, sobre o comportamento dos indivíduos diante deste. Como diversos estudos tem demonstrado que os besouros coprófagos preferem recursos mais atrativos (BOGONI; HERNÁNDEZ, 2014; DORMONT et al., 2007; WHIPPLE; HOBACK, 2012) e que, além disso, algumas espécies respondem somente a compostos específicos das fezes (STARVET et al., 2014), os resultados encontrados poderiam dificultar a detecção do recurso. Embora tenha havido redução na concentração dos compostos voláteis emitidos pelas fezes na presença de cinzas, a atratividade do recurso não foi afetada e os indivíduos de *D. bos* foram igualmente atraídos pelos odores fecais, com e sem cinzas oferecidos no olfatômetro. Isso possivelmente se deve ao fato de que a redução ainda sim manteve a concentração dos voláteis acima do limiar de resposta dos besouros. Limiar este que pode ter sido selecionado em resposta ao fogo, ao longo do tempo evolutivo.

Os resultados apresentados acima demonstram, portanto que as cinzas não têm um efeito negativo sobre a detecção à longa distância dos recursos alimentares por besouros escarabeíneos de Cerrado da espécie *Dichotomius bos*. Algumas hipóteses podem ajudar a explicar os resultados obtidos sobre o comportamento de forrageio dos indivíduos. A primeira envolve a detecção e eventual resposta dos besouros às cinzas, que por emitirem concentrações extremamente baixas de voláteis, podem não ter sido detectadas pelos órgãos olfativos desses insetos ou serem responsivas fisiologicamente, mas não terem efeitos sobre o comportamento de forrageio dos indivíduos, já que os *D. bos* escolheram normalmente as fezes. Em um trabalho realizado por Oliveira-Filho et al., (2018) em áreas de Cerrado, os pesquisadores avaliaram o efeito ecotoxicológico das cinzas sobre diferentes organismos, dentre eles oligoquetas decompositores (*Enchytraeus sp.*). Os resultados encontrados mostraram efeitos tóxicos negativos das cinzas sobre a reprodução e desenvolvimento de juvenis desses organismos. Novos estudos podem ser realizados a partir deste para avaliar as respostas fisiológicas de *D. bos* aos voláteis das cinzas. Testes com eletroantenografia, por exemplo, são capazes de identificar se os voláteis são responsivos aos besouros e com isso ajudar na compreensão dos resultados obtidos. Além disso, como os órgãos olfativos desses insetos respondem a voláteis específicos contidos na massa fecal, amostras de fezes também podem ser avaliadas para saber quais voláteis importantes aos besouros foram perdidos pela reação com as cinzas, já que foi constatado aqui que estas últimas têm efeito negativo sobre

a concentração de VOCs das fezes. É importante destacar também a necessidade de uma avaliação das respostas desses escarabeíneos em campo, já que a propagação dos odores no habitat natural pode ser maximizada tornando o efeito das cinzas imperceptível.

Outra explicação possível é de que esses besouros já estejam adaptados às condições pós-fogo encontradas no Cerrado, uma vez que, esses ambientes são constantemente submetidos a esse tipo de distúrbio. Em um estudo recente, Nunes et al. (2018) mostraram que as comunidades de besouros rola-bosta de áreas rupestres não são afetadas negativamente pelo fogo, sendo altamente resilientes, se recuperando rapidamente após as queimadas. Considerando tais informações espera-se, então, que o fogo do Cerrado já tenha exercido uma pressão seletiva sobre as populações de *D. bos*, selecionando atributos adaptativos que permitam que esse distúrbio não exerça qualquer tipo de efeito sobre esses organismos. Porém, é importante ressaltar que no estudo acima citado os efeitos do fogo foram avaliados meses após sua ocorrência, não sendo quantificadas, portanto as respostas imediatas dos besouros no pós-fogo. Dessa forma, os resultados obtidos aqui podem ser complementares, contribuindo para melhor entendimento da resposta desses organismos ao fogo do Cerrado.

A compreensão da resposta comportamental de besouros escarabeíneos ao fogo do Cerrado é extremamente importante para a manutenção dos processos que gerenciam esse ecossistema. No entanto, o comportamento de diferentes espécies a esse tipo de distúrbio irá depender dos requerimentos e das condições necessárias à sobrevivência de cada indivíduo (BLANCHE; ANDERSEN; LUDWIG, 2001) e, por isso, é necessária a realização de pesquisas futuras envolvendo outras espécies de escarabeíneos para melhor compreensão de como as comunidades e os indivíduos dentro das populações se comportam em relação ao distúrbio do fogo.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho contribuem com informações importantes sobre o efeito de condições pós-queimada encontradas em áreas de Cerrado sobre o comportamento de forrageio de besouros escarabeíneos. Apesar de constatada uma redução drástica na concentração da maioria dos compostos voláteis emitidos pelas fezes em contato com as cinzas, tal concentração ainda se manteve acima do limiar responsivo dos besouros. Sendo possível concluir que as cinzas não tem influência sobre a atratividade e consequente detecção e localização do recurso por esses organismos, em condições de laboratório.

Os resultados deste trabalho demonstram também que os besouros escarabeíneos pertencentes à espécie *Dichotomius bos* estão bem adaptados às condições pós-fogo do

Cerrado, não alterando seu comportamento de forrageio em resposta a esse distúrbio. É importante conduzir experimentos futuros que avaliem além das respostas comportamentais, repostas fisiológicas e ecológicas desses organismos e de demais espécies de escarabeíneos ao fogo do Cerrado. Tais respostas podem ser úteis na compreensão do papel do fogo como filtro ecológico no sistema, além de ajudarem na proposição e manutenção de estratégias de manejo do fogo para a conservação da biodiversidade do Cerrado, pois o entendimento da reposta das espécies ao distúrbio do fogo, permite, por exemplo, que diferentes regimes de queima possam ser aplicados respeitando as condições adequadas aos indivíduos e garantindo a sobrevivência das espécies.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, F. V. et al. Trends and gaps of the scientific literature about the effects of fire on Brazilian Cerrado. **Biota Neotropica**, v. 18, n. 1, p. 1-6, mar. 2018.
- BERGLUND, A. et al. The adaptive bases of female sexual behavior: reports from a workshop. **Behavioral Ecology**, v. 4, n. 2, p. 184-187, 1993.
- BLANCHE, K. R.; ANDERSEN, A. N.; LUDWIG, J. A. Rainfall-contingent detection of fire impacts: responses of beetles to experimental fire regimes. **Ecological Applications**, v. 11, n. 1, p. 86-96, february. 2001.
- BRIANI, D. C. et al. Post-fire succession of small mammals in the Cerrado of central Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, n. 5, p. 1023-1037, mar. 2004.
- BRITO, D. Q. **Avaliação ecotoxicológica das cinzas de queimadas do Cerrado em ambientes aquáticos**. 2014. 120 f., il. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural)- Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- BOGONI, J. A.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Attractiveness of native mammal's feces of different trophic guilds to dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). **Journal of Insect Science**, v. 14, n. 1, december. 2014.
- CALCATERRA, L. A. et al. Fire effect on ground-foraging ant assemblages in northeastern Argentina. **Journal of Insect Conservation**, v. 18, n. 3, p. 339-352, jun. 2014.
- CANEDO-JÚNIOR, O. E. et al. Can anthropic fires affect epigaeic and hypogaeic Cerrado ant (Hymenoptera: Formicidae) communities in the same way? **Revista de Biología Tropical**, v. 64, n. 1, p. 1-7, p. 95-104, jun. 2016.
- CORREA, C. et al. Attractiveness of baits to dung beetles in Brazilian savanna and exotic pasturelands. **Entomological Science**, v. 19, n. 2, p. 112-123, april. 2016.
- COUTINHO, L. M. O bioma do cerrado. In: KLEIN, A. L. **Eugen Warming e o cerrado brasileiro um século depois**. São Paulo: Unesp, 2000. 256 p.
- DORMONT, L.; EPINAT, G.; LUMARET, J. Trophic preferences mediated by olfactory cues in dung beetles colonizing cattle and horse dung. **Environmental Entomology**, v. 33, n. 2, p. 370-377, april. 2004.
- DORMONT, L. et al. Influence of dung volatiles on the process of resource selection by coprophagous beetles. **Chemoecology**, v. 17, n. 1, p. 23-30, mar. 2007.

- DORMONT, L. et al. Innate olfactory preferences in dung beetles. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 18, p. 3177-3186, 2010.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11-15, oct. 2016.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, p. 201-341, april, 1972.
- ELIA, M. et al. Cost-effectiveness of fuel removals in Mediterranean wildland-urban interfaces threatened by wildfires. **Forests**, v. 7, n. 7, p. 149, jul. 2016.
- FARIA, A. S.; LIMA, A. P.; MAGNUSSON, W. E. The effects of fire on behaviour and relative abundance of three lizard species in an Amazonian savanna. **Journal of Tropical Ecology**, v. 20, n. 5, p. 591-594, sep. 2004.
- FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 12-25, 2011.
- FILHO, O. P. et al. Diversidade de cupins em áreas de savana, submetidas a diferentes regimes de fogo. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 91-100, jan/mar. 2012.
- GABET, E. J.; STERNBERG, P. The effects of vegetative ash on infiltration capacity, sediment transport, and the generation of progressively bulked debris flows. **Geomorphology**, v. 101, n. 4, p. 666-673, nov. 2008.
- HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). **Folia Entomológica Mexicana**, v. 12/14, p. 1-312, 1966.
- HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. **Dung beetle ecology**. Princeton: Princeton University Press, 1991. 481 p.
- HANSKI, I.; KRIKKEN, J. Dung beetles in tropical forests in south-east Asia. In: HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. (eds.). **Dung beetle ecology**. Princeton: Princeton University Press, 1991. p. 179-197.
- KEELEY, J. E. et al. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 8, p. 406-411, aug. 2011.
- LEDRU, M. P. Late Quaternary history and evolution of the cerrados as revealed by palynological records. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil – ecology and natural history of a neotropical savanna**. ed. Columbia: University Press, 2002. p. 33-50.
- LEITE, D. L. P. **Efeito do fogo sobre a taxocenose de lagartos em áreas de Cerrado sensu stricto no Brasil Central**. 2007, 126 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Universidade de Brasília. Brasília, DF, Brasil, 2007.
- LOUZADA, J. N. C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritívoros em ecossistemas tropicais: biodiversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: ed. UFLA, 2008. p. 309-332.
- LOUZADA, J. N. C.; SILVA, R. C. P. Utilization of introduced Brazilian pastures ecosystems by native dung beetles: diversity patterns and resource use. **Insect Conservation and Diversity**, v. 2, n. 1, p. 45-52, 2009.

- LOVE, B. G.; CANE, J. H. Limited direct effects of a massive wildfire on its sagebrush steppe bee community. **Ecological Entomology**, v. 41, n. 3, p. 317-326, mar. 2016.
- MARSH, C. J. et al. Optimising bait for pitfall trapping of Amazonian dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). **PLoS One**, v. 8, n. 8, p. e73147, mar. 2013.
- MESQUITA FILHO, W. **Determinação de horário de vôo e fatores que o influenciam, em scarabaeidae coprófagos diurnos e noturnos em Selvíria/MS**. 2009. 146 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia UNESP, Ilha Solteira, 2009.
- MILHOMEM, M. S.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; DINIZ, I. R. Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. **Pesq. Agropec. bras.**, v. 38, n. 11, p. 1249-1256, nov. 2003.
- MORAES, M. C. B et al. **Eletroantennografia: a antena do inseto como um biossensor**. Brasília, D.F.: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2008.
- MORGADO, R.; MOREIRA, F. Efeitos do Fogo na Fauna. In: MOREIRA, F. et al. **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidadas**. [S.l.], Isa press, 2010. p. 1-323.
- MOURA, A. B. A. P. de; ZAIDAN, R. T. Análise multitemporal e possíveis impactos da expansão da silvicultura de eucalipto no município de Carrancas–MG, um estudo para os anos de 2005, 2008, 2013 e 2015/Analysis multitemporal and possible impacts of the expansion of forestry (...). **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 48, p. 142-155, 2017.
- NEARY, D. G.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water**. 2005. 250 p. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42. U.S. Dept of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, United States, v. 4, 2005.
- NICHOLS, E. et al. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, n. 6, p. 1461-1474, jun. 2008.
- NUNES, C. A. et al. Fire? They don't give a dung! The resilience of dung beetles to fire in a tropical savanna. **Ecological Entomology**, in press, december. 2018.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CARVALHO, D. A.; FONTES, M. A. L. Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 2, p. 291-309, abr/jun. 2004.
- OLIVEIRA-FILHO, E. C. et al. Effects of ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: An ecotoxicological approach. **Science of the Total Environment**, v. 618, p.101-111, nov. 2018.
- PAUSAS, J. G.; PARR, C. L. Towards an understanding of the evolutionary role of fire in animals. **Evolutionary Ecology**, v. 32, n. 2-3, p. 113-125, jun. 2018.
- PEREIRA, J. A. A. Efeitos dos impactos ambientais e da heterogeneidade ambiental sobre a diversidade e estrutura da comunidade arbórea de 20 fragmentos de florestas semidecíduas da região do Alto Rio Grande, Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre), Minas Gerais. Minas Gerais, 2003.
- PEREIRA, P.; UBEDA, X.; MARTIN, D. Heavy metals released from leaf litter exposed to different fire temperatures. A laboratory experiment. **Sustainable Development Strategy and Practice**, v. 1, n. 5, p. 137-154, 2011.
- PEREIRA, P. et al. Spatial models for monitoring the spatio-temporal evolution of ashes after fire—a case study of a burnt grassland in Lithuania. **Solid Earth**, v. 4, n. 1, p. 153-165, may. 2013.

- PEREIRA, P. et al. Wildfire effects on extractable elements in ash from a *Pinus pinaster* forest in Portugal. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 11, p. 3681-3690, may. 2014.
- RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, n. 6, p. 675-684, 2000.
- READE, S. et al. Optimization of sample preparation for direct SPME-GC-MS analysis of murine and human faecal volatile organic compounds for metabolomic Studies. **Journal of Analytical and Bioanalytical Techniques**, v. 5, n. 2, p. 184, 2014.
- RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. D. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais no domínio do cerrado na região do Alto Rio Grande - Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 102-123, jan/fev. 2001.
- SALOMÃO, R. P. et al. Attractiveness of different food resources to dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) of a dry tropical area. **Neotropical entomology**, v. 47, n. 1, p. 69-78, February. 2018.
- SIMÕES, A. O.; KINOSHITA, L. S. The Apocynaceae s. str. of the Carrancas region, Minas Gerais, Brazil. **Darwiniana**, v. 40, n. 1, p. 127-169, jan. 2002.
- SIMON, M. F. et al. Recent assembly of the Cerrado, a Neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 106, n. 48, p. 20359-20364, oct. 2009.
- SHAW, A. J. **Heavy metal tolerance in Plants: Evolutionary aspects**. Florida: CRC Press, 1999.
- STAVERT, J. R. et al. The volatile organic compounds of introduced and native dung and carrion and their role in dung beetle foraging behaviour. **Ecological entomology**, v. 39, n. 5, p. 556-565, aug. 2014.
- TISSIANI, A. S. O.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; CAMPELO-JÚNIOR, J. H. Dung beetles of Brazilian pastures and key to genera identification (Coleoptera: Scarabaeidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 401-418, jun. 2017.
- TURLINGS, T. C. J.; DAVISON, A. C.; TAMÒ, C. A six-arm olfactometer permitting simultaneous observation of insect attraction and odour trapping. **Physiological Entomology**, v. 29, n. 1, p. 45-55, February. 2004.
- VERDÚ, J. R. et al. Acorn preference by the dung beetle, *Thorectes lusitanicus*, under laboratory and field conditions. **Animal Behaviour**, v. 74, n. 6, p. 1697-1704, december. 2007.
- WHIPPLE, S. D.; HOBACK, W. W. A comparison of dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) attraction to native and exotic mammal dung. **Environmental Entomology**, v. 41, n. 2, p. 238-244, april. 2012.
- WURMITZER, C. et al. Attraction of dung beetles to herbivore dung and synthetic compounds in a comparative field study. **Chemoecology**, v. 27, n. 2, p. 75-84, april. 2017.

CAPÍTULO II

O efeito de cinzas sobre as funções ecológicas realizadas por besouros escarabeíneos da espécie *Phanaeus palaeno* (Coleoptera: Scarabaeinae)

RESUMO

O fogo é um agente ecológico/evolutivo de grande importância para a manutenção e dinâmica dos ecossistemas do Cerrado. As queimadas que acontecem nesse ambiente alteram consideravelmente a estrutura do habitat expondo a superfície dos solos à maior luminosidade, temperatura e a substâncias com grande teor de nutrientes e metais pesados. As condições pós-fogo podem ser muito severas para os organismos habitantes do solo e dentre tais organismos destacam-se, os besouros rola-bosta. Esses besouros desempenham importantes funções no ecossistema do Cerrado. Apesar disso, poucos trabalhos têm avaliado as respostas desses organismos ao fogo, sobretudo em nível de indivíduo. Dessa forma, os objetivos do presente trabalho foram: avaliar se os resíduos pós-queimada, em forma de cinzas, têm influência no desempenho das funções ecológicas de enterrio de fezes e revolvimento de solos realizadas por besouros da espécie *Phanaeus palaeno*; e avaliar se as características como o sexo e peso dos indivíduos têm influência no desempenho das funções. Os besouros foram coletados em áreas de Cerrado próximas a Carrancas-MG. As funções realizadas pelos indivíduos foram quantificadas em laboratório em experimentos com duração de 48 h. Três tratamentos foram distribuídos em dois blocos com 45 repetições cada. As repetições consistiam em baldes plásticos contendo solo, um indivíduo de *P. palaeno* e duas porções de fezes. Cada balde teve a superfície do solo dividida em duas metades iguais, sendo estabelecidos os seguintes tratamentos: TI controle, baldes isentos de cinzas; TII baldes contendo em um dos lados, solo coberto por cinzas; e TIII solos cobertos por cinzas em ambos os lados do balde. Todos os besouros foram pesados e sexados. Não houve diferença estatística entre os três tratamentos quanto à quantidade de fezes enterradas e solos revolvidos, demonstrando, portanto, que as cinzas não têm influência sobre a realização dessas funções por *P. palaeno*. O sexo dos indivíduos foi positivamente relacionado às funções ecológicas, sendo as fêmeas responsáveis por revolver mais solos e enterrar maiores quantidades de fezes em relação aos machos. Embora machos e fêmeas desempenhem as funções em intensidades distintas, ambos não foram afetados pela presença de cinzas. Apesar do fogo ser um distúrbio natural do Cerrado, as atividades antrópicas têm intensificado sua ocorrência. Como os escarabeíneos desempenham funções ecossistêmicas importantes, sobretudo, para esse ambiente, essas informações podem ser úteis na elaboração e na reformulação do manejo do fogo para a conservação da biodiversidade do Cerrado.

Palavras-chave: Fogo no Cerrado. Funções ecossistêmicas. Resíduos pós-fogo. Besouros escarabeíneos.

ABSTRACT

The fire is an ecological/evolutionary agent of the great importance for the maintenance and dynamics of Cerrado ecosystems. The burnings that occur in this environment considerably alter the structure of the habitat exposing the surface of the soils to the highest luminosity, temperature and substances with high content of nutrients and heavy metals. The post-fire conditions can be very severe for the organisms inhabiting the soil and among such organisms stand out, the dung beetles. These beetles play important roles in the Cerrado ecosystem. Nevertheless, few studies have evaluated the responses of these organisms to fire, especially those at the individual level. Thus, the aims this present study were: to evaluate if post-burnings residuals in shape ashes have influence in the performance of the ecological functions of the dung burial and soil revolving by *Phanaeus palaeno* beetles species. And to evaluated if characteristics as weight and sex of the individuals have influence in the ecological functions performance. The beetles were captured in Cerrado areas near the Carrancas-MG. The ecological functions performed by the individuals were measured in laboratory experiments whit duration of the 48hours. Three treatments were established in two blocks whit 45 repetitions each. The repetitions consisted in buckets plastics with compacted soil, one individual of the *P. palaeno*, and two portions of the faeces. Each buckets had the soil surface divided into two equal halves, the following treatments being established: TI control, bucket without ashes; TII containing on one side soil with ashes; TIII soil with ashes in both sides of the bucket. All the beetles were heavy and sexed. There were no significant differences between the three treatments about the quantity the dung burial and soil revolving, demonstrating, therefore that the ashes had no influence on the functions performance by the *Phanaeus palaeno* beetles species. The sex of the individuals was positively related whit the functions, the females was responsible by the most quantity soil revolving and the most quantity dung burial in relation the males. Although males and females perform functions at distinct intensities, both were unaffected by the presence of ashes. Though the fire is a natural disturbance of the Cerrado, anthropic activities have intensified its occurrence. As the dung beetles performs important ecological functions, about everything for the environments of the Cerrado. These information's can be useful on the elaboration and on reformulation of the fire management for the biodiversity conservation these environment.

Keywords: Fire in Cerrado. Ecosystems functions. Post-fire residuals. Dung beetles.

1 INTRODUÇÃO

O fogo é um agente ecológico/evolutivo chave no Cerrado, sendo de grande importância para a manutenção e a dinâmica desse ecossistema (DURIGAN; RATTER, 2016; COUTINHO, 2000). As queimadas naturais que ocorrem no Cerrado são provocadas principalmente pela ação de raios durante as primeiras chuvas quando a vegetação ainda encontra-se propícia à combustão (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000). Apesar do enorme papel ecológico e evolutivo que as queimadas periódicas exercem sobre o Cerrado, alguns aspectos quanto aos efeitos do fogo sobre a biota e o meio físico ainda são pouco compreendidos (MIRANDA; NETO; NEVES, 2010).

A queima da vegetação é um dos processos mais importantes durante a ação do fogo no Cerrado. Como consequência desse processo, diversas alterações podem ser observadas no habitat, e dentre elas, as mais importantes ocorrem sobre a superfície dos solos. Após a passagem do fogo, os solos ficam expostos a maiores taxas de luminosidade, bem como a maiores temperaturas (DINIZ, 1997). Além disso, alterações físicas, químicas e biológicas podem ser observadas ocasionadas, sobretudo, pela deposição de subprodutos da queima (BRITO, 2014; REDIN et al., 2001).

Dentre os subprodutos gerados pela queima da vegetação, as cinzas são uma das mais notáveis no ambiente pós-fogo. Essas substâncias são depositadas sobre os solos, formando camadas espessas que cobrem toda a superfície. São constituídas por alto teor de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg), que podem facilmente serem utilizados pelas plantas favorecendo seu rápido crescimento após a queimada (PEREIRA; UBEDA; MARTIN, 2011). No entanto, apesar da utilização de grande parte desses nutrientes, outra parte considerável ainda permanece no ambiente sem serem utilizadas podendo causar sérios danos ao solo e aos organismos associados a ele (COUTINHO, 2000).

Segundo Araújo e Ribeiro (2005), os efeitos do fogo sobre a fauna dos solos podem ser refletidos com maior intensidade a nível populacional e diversos estudos envolvendo diferentes táxons têm mostrado que o fogo pode reduzir consideravelmente o número de indivíduos após as queimadas (BARRAT et al., 2006; MALMSTRÖM et al., 2009; VASCONCELOS et al., 2009). As condições pós-fogo são normalmente muito severas para os animais que habitam os solos, pois as modificações físicas e químicas induzidas no habitat podem acarretar perdas na quantidade e na qualidade de recursos disponíveis, afetar os locais de nidificação e abrigo, e influenciar na temperatura local, tornando o ambiente inhóspito aos organismos (DINIZ, 1997).

Entre a biota dos solos encontram-se os besouros escarabeíneos. Popularmente conhecidos como rola-bostas, esses besouros utilizam principalmente fezes, carcaças, frutos e outros materiais orgânicos em decomposição como recurso alimentar (LOUZADA, 2008). Os escarabeíneos desempenham uma série de funções ecológicas ao removerem as fezes da superfície do solo para a alimentação ou reprodução. Ao enterrar o alimento, esses besouros incrementam a ciclagem de nutrientes (SLADE et al., 2007), melhoram a aeração dos solos (BANG et al., 2005), afetam negativamente populações de parasitas (BRAGA et al., 2012) e promovem a dispersão secundária de sementes (BRAGA et al., 2013).

Além de dependerem, principalmente, das fezes de vertebrados para a alimentação, os escarabeíneos também utilizam os recursos para a reprodução (HALFFTER; EDMONDS, 1982; SALOMÃO et al., 2017). As fêmeas ovipositam no interior das bolotas fecais de onde irá se desenvolver a prole até a fase adulta (HALFFTER; EDMONDS, 1982).

A localização e detecção dos recursos pelos besouros se dão através de plumas de odor liberadas pelas fezes (WURMITZER et al., 2017). A atratividade do alimento é um fator chave para a localização deste. No entanto, uma vez localizado, outros fatores podem influenciar a sua utilização, dentre eles, estão, a estrutura física e a composição nutricional do recurso (HANSKI; CAMBEFORT, 1991; WHIPPLE; HOBACK, 2012) e as propriedades do solo imediatamente abaixo do depósito de recurso (ex. % de areia) (SILVA et al., 2015).

Em áreas queimadas, alguns fatores podem influenciar a qualidade do recurso. A elevação da temperatura e baixa umidade, além da presença de cinzas sobre os solos, por exemplo, podem servir como uma barreira física e química capaz de impedir a utilização dos recursos pelos escarabeíneos. Segundo Gardner et al. (2008), alterações microclimáticas no ambiente e nas propriedades do solo produzidas por distúrbios podem levar à perda da biodiversidade de escarabeíneos, além de reduzir a utilização do esterco pelos besouros (NORRIS; MICHALSKI, 2010), afetando ainda, a deposição do recurso, bem como a sobrevivência das larvas (SOWING, 1995).

Como o fogo é um fator crucial para a manutenção da estrutura e da biodiversidade dos Cerrados (BOND; WOODWARD; MIDGLEY, 2005; MIRANDA; BUSTAMANTE; MIRANDA, 2002; VASCONCELOS et al., 2009), e os escarabeíneos são parte dessa biodiversidade fornecendo uma série de funções e serviços ecológicos importantes a esse ambiente, a compreensão das respostas desses organismos ao fogo do Cerrado pode ajudar a preencher lacunas e fornecer subsídios para o uso de técnicas de manejo de fogo adequadas para a manutenção e conservação desse ambiente.

OBJETIVOS

- i. Avaliar se os resíduos pós-queimada depositados em forma de cinzas sobre os solos tem influência no desempenho das funções ecológicas de enterrio de fezes e revolvimento de solo realizadas por besouros rola-bosta pertencentes à espécie *Phanaeus palaeno* (Blanchard, 1846);
- ii. Avaliar se quando ofertadas ao mesmo tempo, fezes contendo e não contendo cinzas, os besouros escarabeíneos irão explorar mais as fezes sem cinzas.
- iii. Avaliar se sexo e o peso dos indivíduos de *P. palaeno* têm influência no desempenho das funções, em ambos recursos com e sem cinzas.

HIPÓTESES

- i. A capacidade de enterrio de fezes e revolvimento de solo será menor em solos cobertos por cinzas quando comparados a solos isentos de cinzas;
- ii. Na presença de fezes com e sem cinzas, as fezes contendo cinzas serão menos exploradas pelos besouros;
- iii. As características como sexo e peso dos indivíduos têm influência positiva no desempenho das funções ecológicas, independente de haver ou não cinzas nas fezes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A região da área de coleta está localizada a 9,6 km do município de Carrancas, Minas Gerais, Brasil (21°25'56.1''S 044°39'15.8''O), sendo composta por diferentes fitofisionomias de Cerrado que variam desde áreas de campo rupestre e campos limpos nas porções mais altas da Serra, a matas de galeria circundando cursos d'água, campos naturais de gramíneas e pastagens introduzidas (IBGE, 2010). A altitude local varia entre 991 e 1046 m. O clima local, segundo a classificação Köppen-Geiger é caracterizado como Cwa tropical de altitude, com duas estações bem definidas: estação chuvosa (setembro a abril) e estação seca (maio a agosto) (NASCIMENTO, 2001). A precipitação média anual da região é de 1483 mm e a temperatura média é em torno de 20°C (OLIVEIRA-FILHO; CARVALHO; FONTES, 2004; PEREIRA, 2003; SIMÕES; KINOSHITA, 2002).

2.2 Coleta dos besouros vivos

Os besouros foram coletados em fevereiro de 2018, durante a estação chuvosa, em seis áreas de campo limpo e pastagens introduzidas. Para a captura dos besouros foram utilizadas 80 armadilhas do tipo *pitfall* enterradas no nível do solo, iscadas com fezes humanas e fezes suínas homogeneizadas (ver CAPÍTULO I e APÊNDICE A).

As armadilhas foram distribuídas aleatoriamente em campo, distanciadas 50 m umas das outras. Após o período de 24 horas, os besouros capturados eram retirados das armadilhas e a isca trocada para a realização de uma nova coleta. As coletas foram repetidas no mesmo local até a obtenção de uma quantidade satisfatória de indivíduos para posterior experimentação em laboratório.

Os besouros capturados foram triados e identificados no Laboratório de Ecologia e Conservação de Invertebrados (LECIN) da UFLA e a espécie escolhida para a realização dos experimentos foi *P. palaeno* (Blanchard, 1846), sendo a mais abundante nas coletas com 160 indivíduos. A sexagem dos indivíduos dessa espécie foi realizada por avaliação visual de características como coloração do pronoto e presença de chifres. A confirmação dos sexos foi realizada após os experimentos pela extração do edeago, órgão sexual dos machos.

2.3 Espécie modelo

Os besouros pertencentes à espécie *Phanaeus palaeno* (Blanchard, 1846) são paracoprídeos e escavam túneis próximos ou logo abaixo do depósito fecal (LOUZADA, 2008; PRICE; MAY, 2009). Os indivíduos possuem coloração verde metálica e o tamanho do corpo pode variar de 10 a 19 mm (ARNAUD, 2002). Esses besouros desempenham importantes funções no ecossistema ao incorporarem a matéria orgânica no solo pelo processo de escavação dos túneis. Entre as funções exercidas por *P. palaeno*, destacam-se a aeração e bioturbação do solo, a ciclagem de nutrientes e a dispersão secundária de sementes (NICHOLS et al., 2008). Ativos na superfície dos solos durante o dia, os indivíduos se alimentam principalmente de fezes de vertebrados, herbívoros e onívoros, e podem ser encontrados em áreas campestres e savânicas, bem como em pastagens cultivadas (EDMONDS, 1994; TISSIANI et al., 2017).

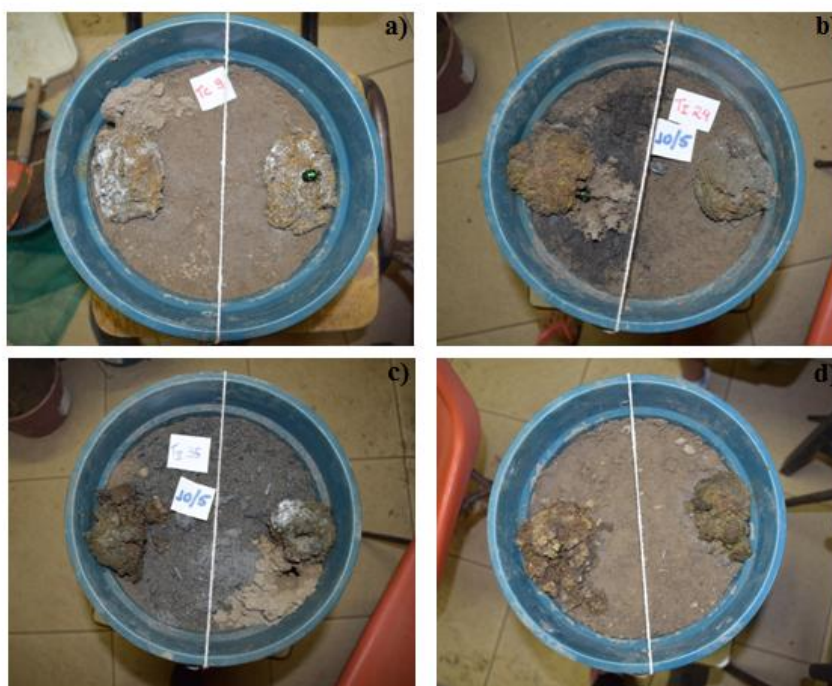
2.4 Manutenção dos besouros

Os besouros foram mantidos vivos em sala climatizada no Laboratório de Ecologia e Conservação de Invertebrados (LECIN) (ver CAPÍTULO I). Os indivíduos foram colocados em potes plásticos (até cinco por pote), preenchidos com solo umedecido (700 g). A alimentação dos besouros foi feita a cada três dias com aproximadamente 30 g de fezes suínas e os besouros permaneceram por 10 dias sob esse protocolo para adaptação as condições laboratoriais. Após isso, o processo de alimentação dos indivíduos foi totalmente interrompido durante sete dias para a realização dos experimentos.

2.5 Teste das funções ecológicas

Para avaliar se a capacidade de enterrio de fezes e revolvimento de solo pelos besouros é afetada pela presença de cinzas e pelas características dos indivíduos (sexo e peso), foram realizados dois blocos de experimentos compostos por 45 repetições cada. Cada repetição consistiu em baldes plásticos de 8 litros contendo aproximadamente 6 kg de solo compactado e umidificado. Foi colocado um indivíduo de *P. palaeno* por balde e os baldes foram cobertos com tela para evitar que os besouros escapassem. Cada balde foi dividido simetricamente ao meio por um barbante, sendo depositadas em cada lado 100 g de fezes suínas. As repetições foram distribuídas entre três tratamentos: tratamento I (controle), composto por baldes isentos de cinzas (FIGURA 1a); tratamento II, composto por baldes contendo em um dos lados, solo coberto com 10 g de cinzas (FIGURA 1b); e tratamento III, composto por baldes contendo 10 g de cinzas em ambos os lados (FIGURA 1c). Em adição foram utilizados ainda para cada bloco, 15 baldes contendo apenas solo e fezes, sem a adição de cinzas e o besouro, para o controle da perda de umidade natural das fezes (FIGURA 1d). As cinzas utilizadas nos experimentos foram obtidas através da queima de material vegetal (capim, galhos, folhas etc) de áreas de Cerrado próximas ao município de Lavras-MG. A posição de cada balde em relação aos demais foi definida de forma aleatória para evitar qualquer interferência externa. Antes dos experimentos todos os indivíduos foram pesados em balança de precisão (0,0001 g) para aferição da biomassa líquida.

Figura 1 - Fotos dos tratamentos que compuseram o experimento de funções realizado em laboratório com indivíduos da espécie *Phanaeus palaeno*.



Legenda: a) Tratamento I controle (balde com solo isento de cinzas); b) Tratamento II (balde contendo metade do solo coberto por cinzas); c) Tratamento III (balde com solo totalmente coberto por cinzas); d) Controle de umidade (sem o indivíduo de besouro e sem cinzas). Fonte: Do autor (2019).

As funções de revolvimento de solo e enterrio de fezes realizadas pelos besouros foram avaliadas 48 h após a inserção dos indivíduos nos baldes. Para a quantificação da função de enterrio de fezes, o material fecal remanescente na superfície do balde foi coletado e pesado. A quantidade total de massa fecal removida e incorporada pelos besouros (Fr) foi obtida pela seguinte fórmula:

$$Fr = (Pe/100) - (U) * (Pi - Pe)$$

Onde, $Pe/100$ é a proporção de fezes restantes na superfície do solo após o experimento, U é o peso final das fezes que foi perdida por umidade sem a ação do besouro, Pi é o peso inicial das fezes (100 g) depositada antes do início do experimento, e Pe é o peso final das fezes restantes no balde após o experimento.

Os solos revolvidos pelos besouros foram coletados e depositados em potes plásticos, levados à estufa a aproximadamente 40°C por um período de 48 h, para posterior pesagem. A pesagem dos solos foi realizada até que todos atingissem peso constante. Os experimentos foram realizados em sala climatizada sob condições constantes de umidade $65 \pm 10\%$, temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e foto período de 12 h. Após os experimentos, os besouros foram retirados dos baldes e submetidos a protocolo padrão para armazenamento de espécimes (ver CAPÍTULO I). Após devidamente armazenados, os besouros foram encaminhados à Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT; Cuiabá, Mato Grosso, Brasil) para confirmação da identificação pelo taxonomista Prof. Dr. Fernando Z. Vaz-de-Mello.

2.6 Análises Estatísticas

O coeficiente de correlação de Spearman foi calculado para a verificação do nível de correlação entre as variáveis: enterrio de fezes e revolvimento de solo (nível de significância de 95%) no programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2016) utilizando-se o pacote “Corrplot”. Para avaliar se as cinzas interferem na quantidade de fezes enterradas e solos revolvidos pelos besouros escarabeíneos, os dados dos tratamentos controle (solos isentos de cinzas) e dos tratamentos sem chance de escolha pelo recurso não contaminado (baldes com ambas as metades contendo cinzas) foram submetidos ao teste não paramétrico de Mann-Whitney.

Para determinar se quando ofertadas no mesmo balde e ao mesmo tempo as duas condições (fezes com cinzas e fezes sem cinzas), ambos os recursos são explorados da mesma forma pelos besouros, foi realizado o teste de Mann-Whitney pareado com amostras não independentes.

Para verificar se houve influência das características dos indivíduos (sexo e peso) na execução das funções ecológicas, foram construídos modelos lineares (LMs) e os dados foram submetidos ao teste F para avaliar se o modelo escolhido explicava melhor os resultados, quando comparado ao modelo nulo. Para avaliar a significância de cada variável explicativa uma série de testes ANOVA foi realizada no programa R utilizando-se o pacote “car”, onde cada variável foi excluída separadamente e os modelos foram testados com e sem a variável excluída. Foi analisada também a interação entre as variáveis, sendo as variáveis respostas: a quantidade de solo revolvido e a quantidade de fezes enterradas; e as variáveis explicativas: o peso dos indivíduos, o sexo e os tipos de tratamentos. O nível de significância para as análises foi de 0,05.

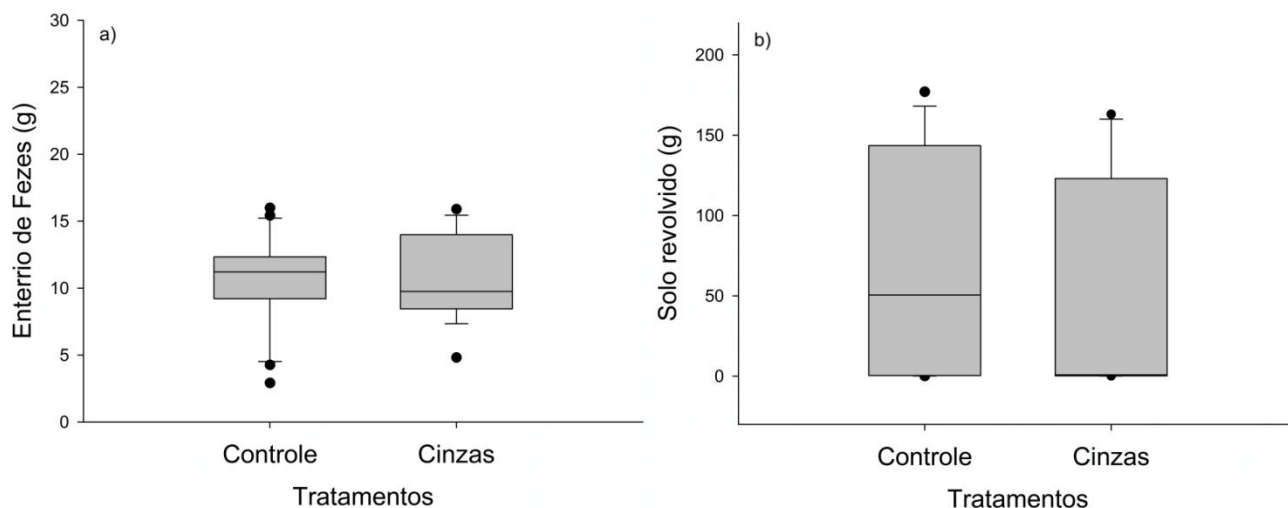
3 RESULTADOS

Apesar de significativa, houve uma fraca correlação entre as funções de revolvimento de solo e enterrio de fezes realizadas pelos besouros ($cor = 0,43$, $p = 0,0005$). Portanto, ambas foram utilizadas em todas as análises seguintes (APÊNDICE E).

3.1 Influência das cinzas sobre as funções ecológicas realizadas pelos besouros da espécie *Phanaeus palaeno*

As funções de enterrio de fezes ($W = 231$, $gl = 42$, $p = 0,951$) (FIGURA 2a) e revolvimento de solos ($W = 263,5$, $gl = 42$, $p = 0,392$) (FIGURA 2b) não foram afetadas pela presença de cinzas quando comparados os tratamentos controle (solos isentos de cinzas) e o tratamento com solo contendo cinzas em ambos os lados do balde.

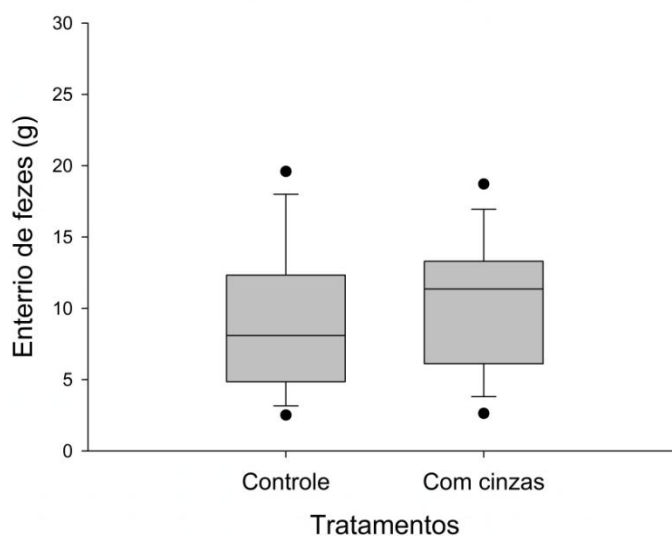
Figura 2 - Quantidade de fezes enterradas e solos revolvidos por besouros escarabeíneos da espécie *Phanaeus palaeno*.



Legenda: a) enterrio de fezes (g); b) solo revolvido (g); Tratamentos: Controle (sem cinzas) e Tratamento contendo cinzas em ambas as metades do balde. Fonte: Do autor (2019).

Os besouros da espécie *P. palaeno* exploraram igualmente, quando oferecidas no mesmo balde, as fezes limpas e as fezes contendo cinzas, não havendo, portanto, diferença estatística entre a quantidade de fezes enterradas por esses besouros de acordo com o teste de Mann-Whitney pareado ($V = 95$, $gl = 16$, $p = 0,403$) (FIGURA 3).

Figura 3 - Quantidade de fezes enterradas por besouros da espécie *Phanaeus palaeno*.



Legenda: Tratamento Controle, fezes isentas de cinzas; e Tratamento Com Cinzas, fezes depositadas em solos cobertos por cinzas. Fonte: Do autor (2019).

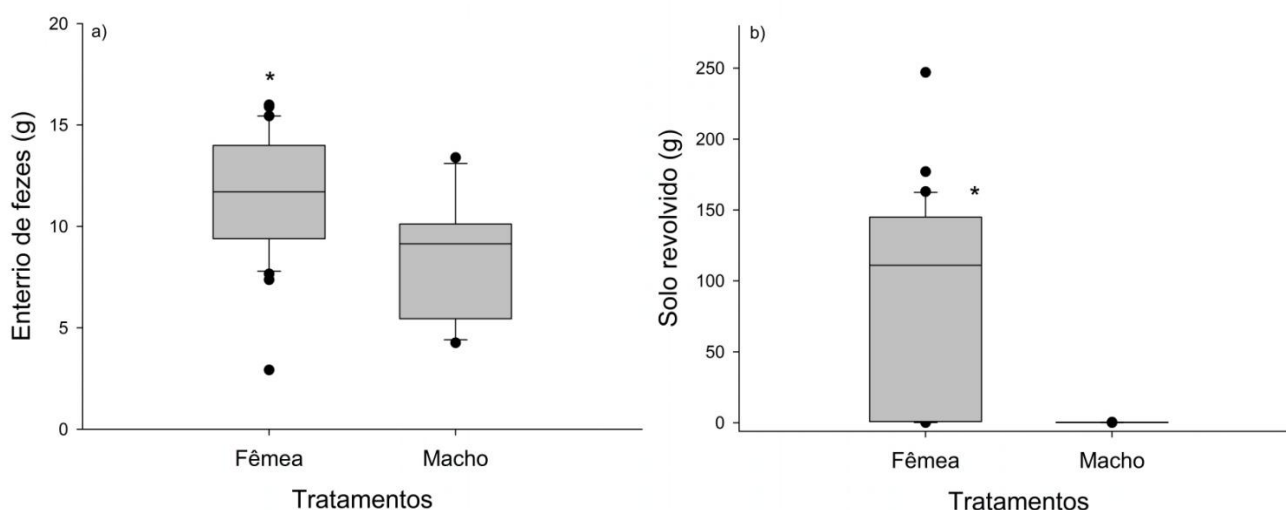
3.2 Influência das características dos indivíduos no desempenho das funções ecológicas

Os dados de enterrio de fezes foram relacionados ao sexo dos indivíduos ($F_{7,35} = 6,53$, $r^2 = 0,27$, $p = 0,015$) (TABELA 1, APÊNDICE F), tanto para o controle (solos isentos de cinzas) quanto para o tratamento com solos cobertos por cinzas. O peso dos indivíduos não

foi estatisticamente relacionado à função de enterrio de fezes ($F_{7,35} = 0,51$, $r^2 = 0,27$, $p = 0,475$).

Os resultados foram semelhantes para os dados de solo revolvido, sendo o modelo utilizado para análise estatisticamente significativo ($F_{7,35} = 12,82$, $r^2 = 0,20$, $p > 0,001$). De acordo com os resultados da ANOVA, o sexo dos indivíduos foi relacionado à execução desta função pelos besouros ($F_{1,35} = 12,82$, $p = 0,001$) em ambos os tratamentos I controle e tratamento contendo cinzas (TABELA 2, APÊNDICE G). No entanto, o peso dos indivíduos não foi estatisticamente relacionado ao revolvimento de solo ($F_{7,35} = 0,36$, $r^2 = 0,34$, $p = 0,55$).

Figura 4 - Gráficos da quantidade de fezes enterradas e solos revolvidos entre fêmeas e machos da espécie *P. palaeno*.



Legenda: a) enterrio de fezes (g); b) solo revolvido (g). Fonte: Do autor (2018).

4 DISCUSSÃO

Este foi um estudo pioneiro que avaliou a influência de condições pós-queimada sobre a execução de funções ecológicas em besouros escarabeíneos. Todas as funções ecológicas avaliadas aqui foram executadas igualmente pelos besouros da espécie *P. palaeno* na presença e na ausência de cinzas nas fezes. Estes resultados refutam a hipótese inicial de que as cinzas teriam algum efeito negativo sobre a execução das funções por esses besouros.

A capacidade dos besouros escarabeíneos em manter suas funções em solos cobertos por cinzas sugere que tais substâncias são inertes a esses insetos, não interferindo na localização e utilização dos recursos. Embora nos experimentos as cinzas tenham sido depositadas abaixo do recurso fecal, é possível afirmar que isto não minimizou seus efeitos e não influenciou os resultados obtidos. Em experimentos utilizando recursos fecais

completamente tomados por cinzas, também não foi encontrada influência dessas substâncias sobre a atratividade dos recursos bem como, sobre o comportamento de forrageio em besouros escarabeíneos, sendo estes últimos capazes de localizar normalmente as fezes contendo cinzas (ver CAPÍTULO I).

Alguns trabalhos envolvendo insetos que também mantiveram ou até mesmo aumentaram a taxa de execução de suas funções após a passagem do fogo, corroboram os resultados encontrados. No trabalho realizado por Parr et al. (2007), onde foi avaliada a resposta de formigas ao fogo de savanas australianas, os resultados demonstraram um aumento na taxa de remoção e na distância de dispersão de sementes por esses organismos após as queimadas. No estudo realizado por Love e Cane (2016), envolvendo a resposta de abelhas a um grande incêndio florestal, os pesquisadores observaram que as abelhas fêmeas adultas continuavam forrageando e provendo pólen normalmente aos ninhos logo após o fogo.

A execução normal das funções ecológicas de revolvimento de solos e enterrio de fezes pelos besouros após a passagem do fogo sob o ponto de vista do manejo de vegetação nativa é bastante positiva, pois esses insetos podem estar contribuindo com processos ecossistêmicos importantes para a regeneração dos Cerrados. Segundo Pereira et al. (2013), um dos principais problemas ocasionados pela deposição de cinzas nos solos, seria a selagem da superfície que aumenta o escoamento e diminui a penetrabilidade da água, favorecendo assim processos erosivos. Dessa maneira, ao escavarem túneis para a reprodução e enterrio do recurso, os *P. palaeno* poderão favorecer a bioturbação dos solos retomando, portanto, a porosidade, a aeração e a penetrabilidade da água perdidas pelo fogo (BANG et al., 2005; NICHOLS et al., 2008).

Os resultados da comparação entre os tratamentos com chance de escolha contendo fezes isentas de cinzas e fezes contendo cinzas dispostas num mesmo balde, mostraram que os indivíduos da espécie *P. palaeno* exploraram igualmente esses dois recursos. Isso pode ser explicado pela atratividade do recurso, que possivelmente não foi afetada pelas cinzas. Resultados semelhantes foram observados ao ser avaliada a resposta olfativa de besouros escarabeíneos pertencentes à espécie *D. bos* a diferentes fontes de odor, sendo estes besouros também igualmente atraídos a fezes com e sem cinzas (ver CAPÍTULO I).

Os escarabeíneos paracoprídeos são os principais responsáveis pela incorporação de matéria orgânica e contribuem naturalmente com a fertilidade do solo através do retorno de nutrientes contidos na massa fecal (NICHOLS et al., 2008; SHAHABUDDIN et al., 2008). Ao enterrar recursos contendo cinzas, os *Phanaeus palaeno* poderão contribuir com o aumento nos teores de nutrientes do solo, tornando-os mais disponíveis às plantas, o que

poderá acarretar efeitos positivos durante o processo de rebrotamento da vegetação pós-fogo. No entanto, é importante ressaltar que ao explorar este recurso os indivíduos de *P. palaeno* tiveram contato direto com as cinzas, além de terem ingerido parte do recurso que eventualmente deveria estar impregnado com nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg) e metais pesados (BRITO, 2014). Esse contato, a longo prazo com substâncias potencialmente tóxicas pode acarretar sérios problemas fisiológicos e morfológicos aos besouros, bem como causar complicações no desenvolvimento das larvas, visto que o mesmo recurso utilizado pelos adultos é disponibilizado à prole (HALFFTER; MATTHEWS, 1966; PRICE; MAY, 2009). Desta forma recomenda-se que pesquisas futuras sejam executadas, visando à avaliação das respostas biológicas e fisiológicas destes insetos às cinzas.

Em diversos estudos, a biomassa, o tamanho corporal e o comportamento de utilização dos recursos têm sido considerados bons preditores da quantidade de funções executadas (GRIFFITHS, et al., 2015; LARSEN; WILLIAMS; KREMEN, 2005; NERVO et al., 2014; NUNES et al., 2018; SANTOS-HEREDIA et al., 2018; SHAHABUDDIN et al., 2008). No entanto, os resultados aqui obtidos demonstram que, além destas, a avaliação do sexo dos indivíduos pode ser importante na compreensão do desempenho das funções.

Dentre as características avaliadas, somente o sexo dos indivíduos foi estatisticamente relacionado à execução das funções pelos besouros. Os resultados mostraram uma clara distinção entre machos e fêmeas de *P. palaeno* quanto à quantidade de fezes enterradas e solos revolvidos, sendo estas últimas responsáveis por revolver mais solos e enterrar maiores quantidades do recurso. Em besouros da tribo Phanaeini é comum à cooperação entre machos e fêmeas no processo de nidificação. Porém, esse comportamento não é obrigatório, tendo sido observado em alguns casos, papel secundário dos machos nesse processo, sendo as fêmeas as responsáveis pela maior parte do trabalho de escavação dos túneis para a reprodução (EDMONDS, 1994; PRICE; MAY, 2009). Após a escavação e enterrio do recurso, às fêmeas depositam seus ovos no interior das bolotas de fezes de onde irão se desenvolver até o estágio adulto. Segundo Halffter e Edmonds (1982), consideráveis quantidades de recurso são necessárias para o desenvolvimento da prole. Isso ajuda a explicar a quantidade encontrada de fezes enterradas pelas fêmeas de *P. palaeno*. Apesar de observada uma diferença considerável na execução das funções entre machos e fêmeas, ambos não foram afetados pela presença de cinzas.

Além do depósito de subprodutos da queima no ambiente, o fogo também é capaz de alterar consideravelmente a complexidade do habitat e o microclima local (COUTINHO,

1978). Portanto, sugere-se que outras variáveis pós-fogo, tais como mudanças de temperatura e umidade, por exemplo, sejam utilizadas e seus efeitos sobre os escarabeíneos sejam quantificados. Além disso, outras espécies de escarabeíneos podem ser estudadas, sobretudo, porque podem apresentar diferentes respostas ao fogo.

5 CONCLUSÃO

Os besouros pertencentes à espécie *Phanaeus palaeno* não tiveram suas funções ecológicas afetadas pela presença de cinzas, condição encontrada em áreas de Cerrado recém-queimadas. Embora o fogo seja um distúrbio natural do Cerrado, atividades antrópicas principalmente voltadas à agricultura, têm intensificado sua ocorrência. Como os escarabeíneos desempenham funções ecossistêmicas chave para os ambientes de Cerrado, estas informações podem ser úteis na utilização e na reformulação do manejo de fogo garantindo a proteção dessas funções, além de permitir a conservação da biodiversidade desse ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse foi um estudo pioneiro que investigou a influência de cinzas, subproduto da queima da vegetação das áreas de Cerrado sobre o comportamento de forrageio bem como, a execução das funções ecológicas em duas espécies de besouros rola-bostas (Coleoptera: Scarabaeinae). As cinzas tiveram um efeito bastante expressivo sobre a concentração de compostos emitidos por fezes suínas, principal recurso utilizado por besouros rola-bostas. No entanto, apesar da redução dos compostos das fezes, as cinzas não foram capazes de afetar a atratividade desse recurso, sendo os besouros escarabeíneos da espécie *Dichotomius bos* capazes de detectar normalmente as fezes. Além disso, as cinzas não tiveram influência sobre a execução das funções ecológicas realizadas por besouros escarabeíneos pertencentes à *Phanaeus palaeno*, que mesmo diretamente expostos a estas substâncias revolveram os solos e enterraram normalmente os recursos.

Os resultados deste trabalho contribuem com informações importantes sobre o entendimento da resiliência da fauna ao fogo de ecossistemas savânicos. Além das respostas comportamentais das duas espécies estudadas aqui, sugere-se que pesquisas futuras sejam realizadas avaliando-se também as respostas biológicas e fisiológicas a curto e a longo prazo, destas e de demais espécies de besouros escarabeíneos. A compreensão do efeito do fogo sobre a fauna de ecossistemas savânicos é de extrema importância, visto que esse tipo de distúrbio tem sido aplicado como forma de manejo para a conservação da biodiversidade desses ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. A.; RIBEIRO, G. A. Impactos do fogo sobre a entomofauna do solo em ecossistemas florestais. **Natureza & Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 75-85, 2005.
- ARNAUD, P. **Les Coléoptères du Monde**. Phanaeini: *Dendropaemon*, *Tetramereia*, *Homalotarsus*, *Megatharsis*, *Diabroctis*, *Coprophanaeus*, *Oxysternon*, *Phanaeus*, *Sulcophanaeus*. v. 28. Canterbury: Hillside Books, 2002. 151 p.
- BANG, H. S. et al. Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 165-171, jun. 2005.
- BARRAT, B. I. P. et al. Effect of fire on microarthropods in New Zealand indigenous grassland. **Rangeland Ecology & Management**, v. 59, n. 4, p. 383-391, jul. 2006.
- BRAGA, R. F. et al. Are dung beetles driving dung-fly abundance in traditional agricultural areas in the Amazon? **Ecosystems**, v. 15, n. 7, p. 1173-1181, nov. 2012.
- BRAGA, R. F. et al. Dung beetle community and functions along a habitat-disturbance gradient in the Amazon: a rapid assessment of ecological functions associated to biodiversity. **PLoS One**, v. 8, n. 2, p. e57786, february. 2013.
- BRITO, D. Q. **Avaliação ecotoxicológica das cinzas de queimadas do Cerrado em ambientes aquáticos**. 2014. 120 f., il. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- BOND, W. J.; WOODWARD, F. I.; MIDGLEY, G. F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New Phytologist**, v. 165, n. 2, p. 525-538, nov. 2005.
- COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: I. A temperatura do solo durante as queimadas. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 1, p. 93-96, 1978.
- COUTINHO, L. M. O bioma do cerrado. In: KLEIN, A. L. **Eugen Warming e o cerrado brasileiro um século depois**. São Paulo: Unesp, 2000. 256 p.
- DINIZ, I. R. **Variação na abundância de insetos no Cerrado: efeito das mudanças climáticas e do fogo**. 1997. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília. Brasília-DF, 1997.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11-15, oct. 2016.
- EDMONDS, W. D. Revision of *Phanaeus Macleay*, a New World genus of Scarabaeinae dung beetles (Coleoptera, Scarabaeinae). **Contributions in Science**, v. 443, p. 1-105, 1994.
- GARDNER, T. A. et al. Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 3, p. 883-893, 2008.
- GRIFFITHS, H. M. et al. Biodiversity and environmental context predict dung beetle-mediated seed dispersal in a tropical forest field experiment. **Ecology**, v. 96, n. 6, p. 1607-1619, jun. 2015.
- HALFFTER, G.; EDMONDS, W. D. **The Nesting Behavior of Dung Beetles (Scarabaeinae)**. Mexico: Instituto de Ecología, 1982. p. 176.
- HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. The natural history of dung beetles of the subfamily scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). **Folia Entomológica Mexicana**, v. 12/14, p. 1-312, jun. 1966.

HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. **Dung beetle ecology**. Princeton: Princeton University Press, 1991. 481 p.

IGBE. Cidades: Mapa dos biomas do Brasil. **IBGE**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: jan. 2019.

LARSEN, T. H.; WILLIAMS, N. M.; KREMEN, C. Extinction order and altered community structure rapidly disrupt ecosystem functioning. **Ecology Letters**, v. 8, n. 5, p. 538-547, may. 2005.

LOVE, B. G.; CANE, J. H. Limited direct effects of a massive wildfire on its sagebrush steppe bee community. **Ecological Entomology**, v. 41, n. 3, p. 317-326, mar. 2016.

LOUZADA, J. N. C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritívoros em ecossistemas tropicais: biodiversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Eds.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. p. 309-332.

MALMSTRÖM, A. et al. Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest. **Applied Soil Ecology**. v. 43, n. 1, p. 61-74, sep. 2009.

MIRANDA, H. S.; NETO, W. N.; NEVES, B. M. C. **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: resultados do projeto Fogo**. Brasília-DF: IBAMA, 2010.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.). **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 51-68.

NASCIMENTO, I. V. Cerrado: o fogo como agente ecológico. **Territorium**, n. 8, p. 25-35, 2001.

NERVO, B. et al. The effects of body mass on dung removal efficiency in dung beetles. **PLoS One**, v. 9, n. 9, p. e107699, sep. 2014.

NICHOLS, E. et al. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, n. 6, p. 1461-1474, jun. 2008.

NORRIS, D.; MICHALSKI, F. Implications of faecal removal by dung beetles for scat surveys in a fragmented landscape of the Brazilian Amazon. **Oryx**, v. 44, n. 3, p. 455-458, jun. 2010.

NUNES, C. A. et al. Linking biodiversity, the environment and ecosystem functioning: ecological functions of dung beetles along a tropical elevational gradient. **Ecosystems**, p. 1-11, sep. 2018.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CARVALHO, D. A.; FONTES, M. A. L. Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 2, p. 291-309, 2004.

PARR, C. L. et al. Savanna fires increase rates and distances of seed dispersal by ants. **Oecologia**, v. 151, n. 1, p. 33-41, february. 2007.

PEREIRA, J. A. A. Efeitos dos impactos ambientais e da heterogeneidade ambiental sobre a diversidade e estrutura da comunidade arbórea de 20 fragmentos de florestas semidecíduas da região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. Minas Gerais, 2003.

- PEREIRA, P. et al. Spatial models for monitoring the spatio-temporal evolution of ashes after fire—a case study of a burnt grassland in Lithuania. **Solid Earth**, v. 4, n. 1, p. 153-165, may. 2013.
- PEREIRA, P.; UBEDA, X.; MARTIN, D. Heavy metals released from leaf litter exposed to different fire temperatures. A laboratory experiment. **Sustainable Development Strategy and Practice**, v. 1, n. 5, p. 137-154, 2011.
- PRICE, D. L. MAY, M. L. Behavioral ecology of *Phanaeus* dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae): review and new observations. **Acta Zoológica Mexicana (ns)**, v. 25, n. 1, p. 211-238, abril. 2009.
- RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, n. 6, p. 675-684, 2000.
- REDIN, M. et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.
- SALOMÃO, R. P.; BEZERRA, B. M.; IANNUZZI, L. Daily activity of *Dichotomius geminatus* (Arrow, 1913) and *Deltochilum verruciferum* Felsche, 1911 (Coleoptera: Scarabaeinae) facing carrion: from resource perception to feeding. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 68, n. 4, p. 300-306, oct/dec, 2017.
- SANTOS-HEREDIA, C. et al. Dung beetles and their ecological functions in three agroforestry systems in the Lacandona rainforest of Mexico. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, p. 2379–2394, mar. 2018.
- SIMÕES, A. O.; KINOSHITA, L. S. The Apocynaceae s. str. of the Carrancas region, Minas Gerais, Brazil. **Darwiniana**, v. 40, n. 1, p. 127-169, jan. 2002.
- SILVA, R. J. et al. Influência da granulometria do solo na estrutura de guildas funcionais de besouros rola-bostas (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) em florestas semidecíduais no estado do Mato Grosso, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p. 601-612, mar. 2015.
- SLADE, E. M. et al. Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 76, n. 6, p. 1094-1104, 2007.
- SHAHABUDDIN, S. et al. The role of coprophagous beetles on dung decomposition and enhancement of soil fertility: Effect of body size, species diversity and biomass. **Journal Biologi Indonesia**, v. 5, n. 1, 2008.
- SOWIG, P. Habitat selection and offspring survival rate in three paracoprid dung beetles: the influence of soil type and soil moisture. **Ecographahy**, v. 18, p. 147–154, 1995.
- TISSIANI, A. S. O.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; CAMPELO-JÚNIOR, J. H. Dung beetles of Brazilian pastures and key to genera identification (Coleoptera: Scarabaeidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 401-418, 2017.
- VASCONCELOS, H. L. et al. Dynamics of the leaf-litter arthropod fauna following fire in a neotropical woodland savanna. **PloS One**, v. 4, n. 11, p. e7762, 2009.
- WHIPPLE, S. D.; HOBACK, W. W. A comparison of dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) attraction to native and exotic mammal dung. **Environmental Entomology**, v. 41, n. 2, p. 238-244, 2012.
- WURMITZER, C. et al. Attraction of dung beetles to herbivore dung and synthetic compounds in a comparative field study. **Chemoecology**, v. 27, n. 2, p. 75-84, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A Armadilha do tipo *pitfall* utilizada para a coleta dos besouros vivos em áreas de Cerrado próximas a Carrancas-MG.



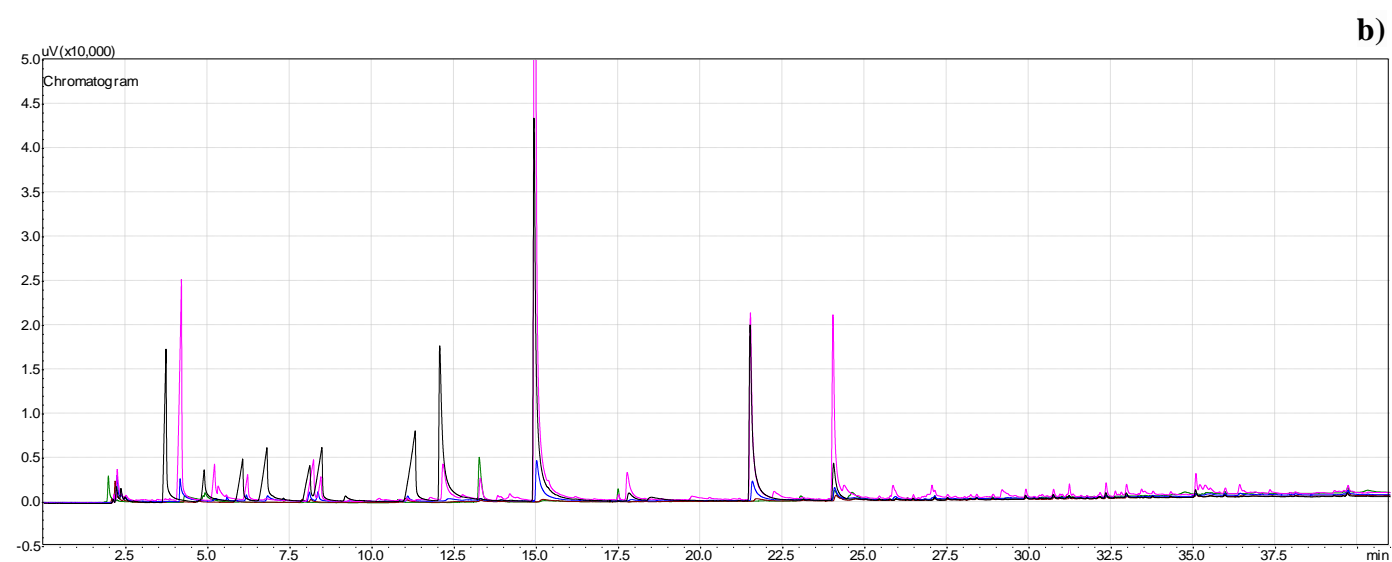
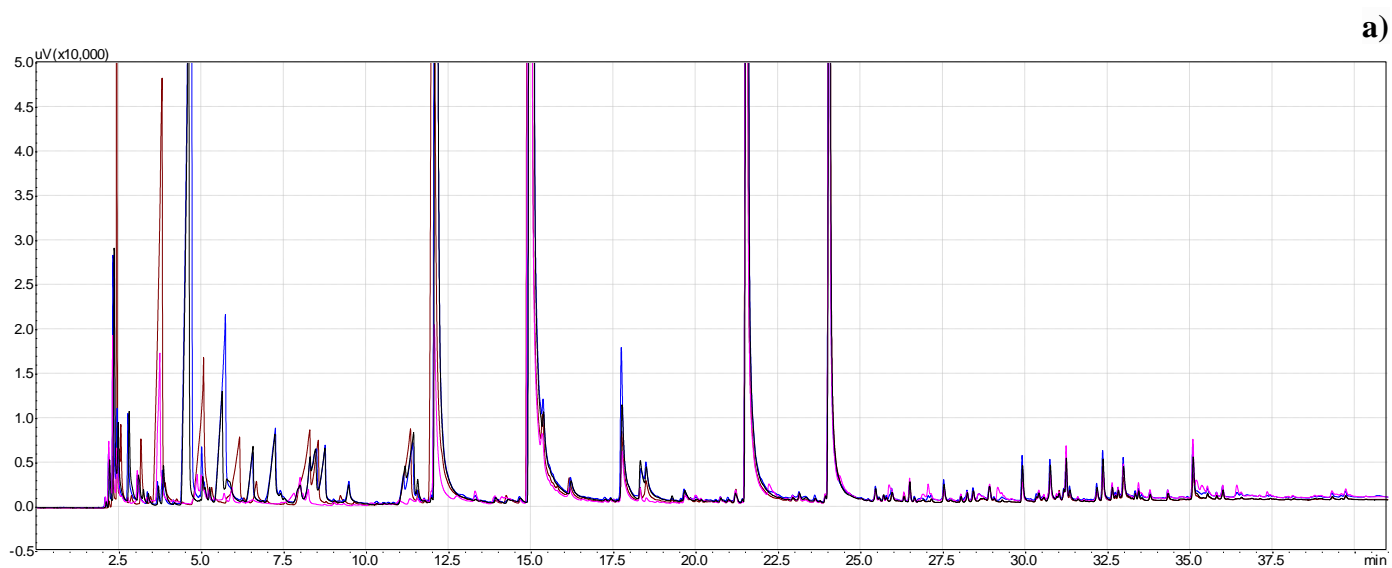
Legenda: Desenho esquemático da armadilha do tipo *pitfall* utilizada para a coleta de besouros vivos; foto da armadilha em campo. Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE B Olfatômetro de quatro vias baseado no trabalho de Verdú et al. (2007).



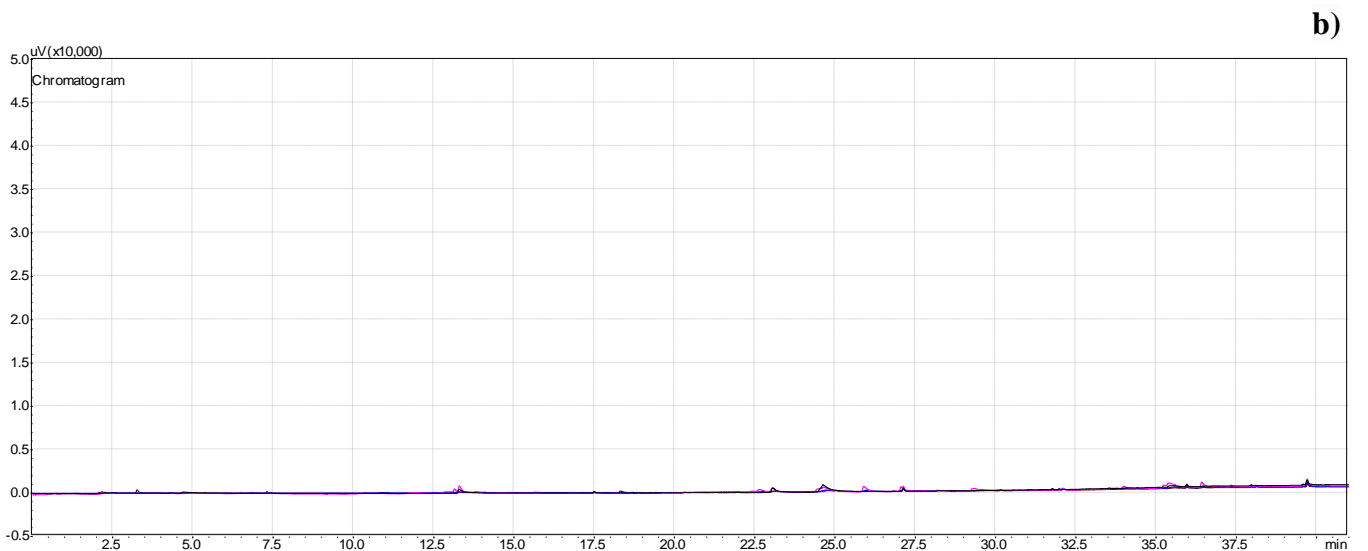
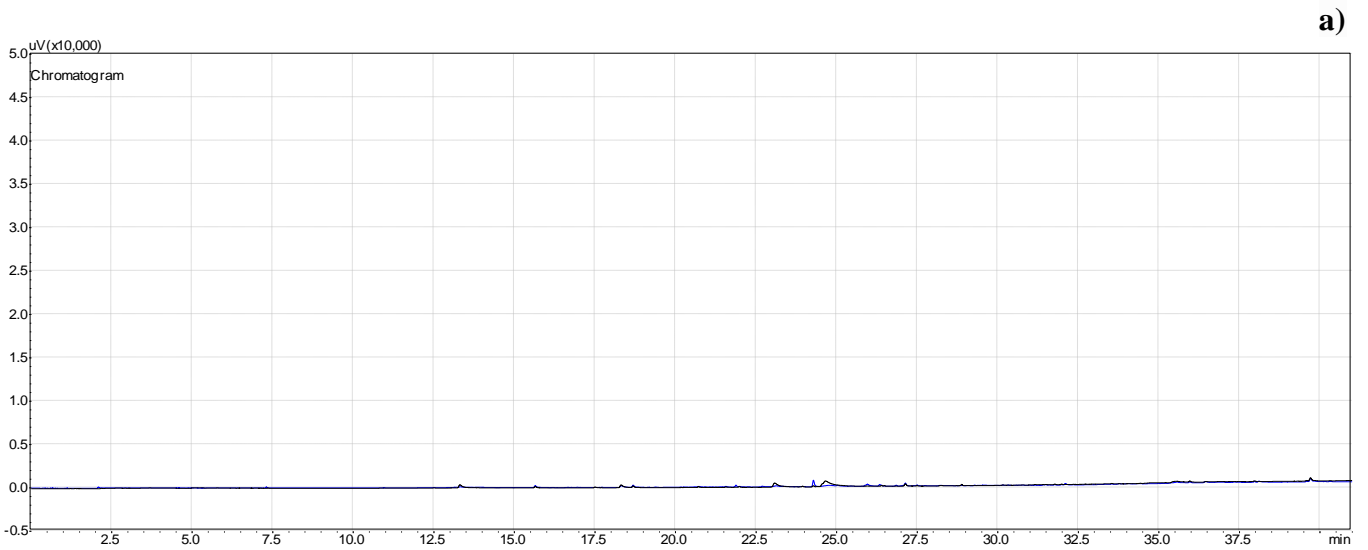
Legenda: Foto do olfatômetro utilizado para avaliar a resposta olfativa de besouros da espécie *Dichotomius bos* a diferentes fontes de odor. Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE C Cromatogramas dos compostos voláteis de tratamentos fecais com e sem cinzas.



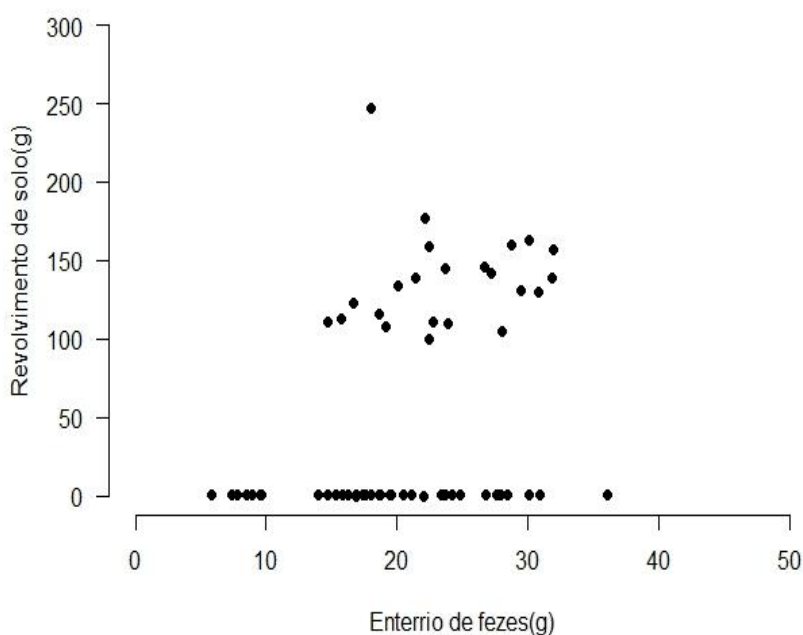
Legenda: a) cromatograma de fezes suínas sem cinzas; b) cromatograma de fezes suínas contendo cinzas. Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE D Cromatogramas dos compostos voláteis dos tratamentos controles (sem amostra) e dos tratamentos contendo somente cinzas.



Legenda: a) cromatograma do controle (sem amostra); b) cromatograma do tratamento contendo somente cinzas. Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE E Correlação entre as funções de revolvimento de solo (g) e enterrio de fezes (g) realizadas por *Phanaeus palaeno*.



Legenda: Correlação de Spearman, nível de significância 0,05. Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE F Tabela 1 - Valores da Análise de variância (ANOVA) para as variáveis: sexo, peso e tipo de tratamento, quanto à função de enterrio de fezes por *Phanaeus palaeno*.

| Enterrio de Fezes | | | |
|-------------------------|----|---------|----------|
| | Df | F value | Pr (>F) |
| Peso | 1 | 0,5195 | 0,47585 |
| Sexo | 1 | 6,5383 | 0,01505* |
| Tratamentos | 1 | 0,2137 | 0,64672 |
| Peso: sexo | 1 | 1,3194 | 0,25848 |
| Peso: tratamentos | 1 | 0,2470 | 0,62232 |
| Sexo: tratamentos | 1 | 0,8171 | 0,3722 |
| Peso: sexo: tratamentos | 1 | 1,8779 | 0,17929 |

Legenda: Nível de significância de 0,05. *Indica diferença significativa, $p < 0,05$. Fonte: Do autor (2019).

APÊNDICE G Tabela 2 - Valores da Análise de variância (ANOVA) para as variáveis: sexo, peso e tipo de tratamento, quanto à função de revolvimento de solo por *Phanaeus palaeno*.

| Revolvimento de solo | | | |
|-----------------------------|-----------|----------------|-------------------|
| | Df | F value | Pr (>F) |
| Peso | 1 | 0,3602 | 0,55229 |
| Sexo | 1 | 12,8202 | 0,00103* |
| Tratamentos | 1 | 0,5461 | 0,46485 |
| Peso: sexo | 1 | 0,0802 | 0,77866 |
| Peso: tratamentos | 1 | 0,0146 | 0,9046 |
| Sexo: tratamentos | 1 | 0,2442 | 0,62425 |
| Peso: sexo: tratamentos | 1 | 0,0032 | 0,95494 |

Legenda: Nível de significância de 0,05. *Indica diferença estatística, $p < 0,05$. Fonte: Do autor (2019).