

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

PEDRO HENRIQUE REIS DE REZENDE COSTA

**O POTENCIAL DAS FORMIGAS-CORTADEIRAS-DE-FOLHAS (*Atta laevigata*)
NA REMOÇÃO DE CARCAÇAS DE RATOS (*Rattus norvegicus*)**

Uberlândia

2024

PEDRO HENRIQUE REIS DE REZENDE COSTA

**O POTENCIAL DAS FORMIGAS-CORTADEIRAS-DE-FOLHAS (*Atta laevigata*)
NA REMOÇÃO DE CARCAÇAS DE RATOS (*Rattus norvegicus*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biologia da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em Ciências
Biológicas

Orientador: Prof. Dr. Heraldo Luis de
Vasconcelos

Uberlândia

2024

PEDRO HENRIQUE REIS DE REZENDE COSTA

**O POTENCIAL DAS FORMIGAS-CORTADEIRAS-DE-FOLHAS (*Atta laevigata*)
NA REMOÇÃO DE CARCAÇAS DE RATOS (*Rattus norvegicus*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biologia da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em Ciências
Biológicas

Uberlândia, 2023

Banca Examinadora:

Prof. Heraldo Luis de Vasconcelos – Dr. (INBIO - UFU)

Prof. Alan Nilo da Costa – Dr. (INBIO - UFU)

Alexandre Ariel da Fonseca de Souza – Me. (INBIO - UFU)

“O tabuleiro de xadrez é o Mundo, as peças são os fenômenos do Universo, as regras do jogo são o que chamamos de Leis da Natureza. O jogador do outro lado está oculto para nós.”

(Thomas Huxley)

RESUMO

A decomposição de um ser vivo é um processo imutável e de extrema importância para que os nutrientes permaneçam no ecossistema e assim outros organismos possam se beneficiar. Dentre aqueles que buscam esse recurso para seu desenvolvimento, os que apresentam maior relevância são os insetos, já que esses possuem uma flexibilidade alimentar e variedade de habitats. Fato é, na atual conjuntura, a grande parte dos estudos que tem como foco insetos associados a carcaças em decomposição, são focados principalmente nas ordens Coleoptera e Diptera, enquanto outras como Hymenoptera ficam na sombra necessitando de maior visibilidade. As formigas (Hymenoptera: Formicidae) estão entre os primeiros organismos a chegarem em um animal morto, e permanecem durante todo o processo de decomposição, de maneira a modificar a taxa de decaimento da carcaça, tanto pela própria ação das formigas sob o recurso, mas também pela competição e predação de outras espécies associadas. Dessa forma, o presente trabalho tem como foco entender mais precisamente o papel das formigas no processo de decomposição de carcaças de animais, quantificando a perda de biomassa durante 72 horas. Para isso, foi utilizado como modelo formigas da espécie *Atta laevigata*, uma vez que são bastante presentes no Cerrado, e por já aparecerem em outras literaturas que demonstraram sua relevância nesse processo, e carcaças de *Rattus norvegicus* por se tratar de mamíferos de fácil acesso. O experimento foi realizado usando dois tratamentos, um em que a carcaça foi instalada diretamente ao lado de trilhas de *Atta*, e outro em que a ocorrência de *Atta* ou outras formigas foi impedida por meio de um anel e cola entomológica. Para quantificar a perda de biomassa e a taxa de decaimento, foram feitas medições diárias de todos os tratamentos até as 72 horas, sendo 12 carcaças por semana, durante quatro semanas, totalizando 48 carcaças. Os resultados obtidos comprovam a relevância da *Atta laevigata* para o processo de decomposição, bem como o nítido aumento na rapidez da perda da massa e na taxa de decaimento da carcaça quando há a presença de formigas comparada à sua ausência. Além disso, os resultados evidenciam a necessidade de aumentar as pesquisas envolvendo as *Atta*, assim como outras espécies de Formicidae, pois trata-se de poucos trabalhos que as usam como modelo, apesar da sua grande e notável importância na ecologia da decomposição.

Palavras-Chave: *Atta*; carcaças de vertebrados; decomposição; Formicidae; formigas-cortadeiras; perda de biomassa; taxa de decaimento.

ABSTRACT

The decomposition of a living being is an immutable process of utmost importance for nutrients to remain in the ecosystem, allowing other organisms to benefit. Among those seeking this resource for their development, insects are particularly relevant due to their broad dietary flexibility and habitat range. Currently, the majority of studies focusing on insects associated with decomposing carcasses are primarily concentrated on the orders Coleoptera and Diptera, while others such as Hymenoptera remain in the shadows, needing greater visibility. Ants (Hymenoptera: Formicidae) are among the first organisms to arrive at a dead animal and remain throughout the decomposition process, modifying the carcass's decay rate both through their own actions and through competition and predation with other insect species. Thus, this study aims to understand the role of ants in the animal carcass decomposition process by quantifying biomass loss over 72 hours and decay rate over this time interval. For this purpose, *Atta laevigata* ants were used as a model species, given their prevalence in the Cerrado biome and their documented importance in previous literature, and *Rattus norvegicus* carcasses as they are easily accessible mammals. The experiment consisted of two treatments: one where the carcass was placed alongside *Atta* trails, and another where these and other ants were excluded by using a plastic ring and entomological glue. Biomass loss and decay rate were measured daily for all treatments over 72 hours, with 12 carcasses per week over four weeks, totaling 48 carcasses. The results confirm the relevance of *Atta laevigata* in the decomposition process, showing a clear increase in the speed of mass loss and carcass decay rate in the presence of these ants compared to their absence. Furthermore, it underscores the need for increased research involving *Atta* ants, as well as other Formicidae species, as there are few studies using them as models despite their significant and notable importance in decomposition ecology.

Keywords: *Atta*; biomass loss; decay rate; decomposition; Formicidae; leaf-cutting ants; vertebrate carcasses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reserva Ecológica do Panga, delimitado pelo pontilhado amarelo, às margens da MGC-455.

Figura 2. Representado pelo pontilhado amarelo, a estrada principal que corta a reserva, e onde de fato foi realizada as coletas.

Figura 3. Visão lateral de uma gaiola usada para o “Tratamento *Atta*”.

Figura 4. Gaiola usada para o “Tratamento Exclusão”; visão inclinada para melhor visualização do anel de PVC e da malha utilizada sob a carcaça.

Figura 5. Foi utilizada balança eletrônica para a pesagem no próprio campo, a fim de não movimentar a carcaça e partes mais moles se desprenderem.

Figura 6. Carcaça do “Tratamento *Atta*”, colônia 13, 48 e 72 horas de exposição, respectivamente.

Figura 7. Carcaça do “Tratamento Exclusão”, colônia 13, 48 e 72 horas de exposição, respectivamente.

Figura 8. Carcaça do “Tratamento *Atta*”, colônia 4, 48 e 72 horas de exposição, respectivamente. Presença também de *Camponotus sericeiventris* nas 48 horas.

Figura 9. Carcaça do “Tratamento Exclusão”, colônia 4, 48 e 72 horas de exposição, respectivamente.

Figura 10. Massa da carcaça aferida nos três intervalos de tempo para os tratamentos *Atta* (gráfico a esquerda) e exclusão (gráfico a direita). As letras acima de cada boxplot indicam as diferenças de massa entre os tempos em cada tratamento.

Figura 11. Decaimento diário dado em gramas para os tratamentos *Atta* e Exclusão. As letras demonstram se houve ou não diferença significativa entre os intervalos de tempo, nesse caso, no tratamento *Atta* não houve diferenças entre as médias, mas no tratamento Exclusão ocorre uma diferença no último dia de exposição.

Figura 12. Massa das larvas obtidas ao final das 72 horas de exposição em cada um dos tratamentos.

Figura 13. Massa das larvas obtidas em 24 e 48 horas de exposição em cada tratamento.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 HIPÓTESE	12
3 OBJETIVOS	12
3.1 Objetivos Gerais	12
3.2 Objetivos Específicos	12
4 MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1 Área de Estudo	13
4.2 Delineamento Experimental	15
4.3 Pesagem	17
4.4 Análise de Dados	19
5 RESULTADOS	20
5.1 Massa das carcaças	20
5.2 Decaimento diário da massa	21
5.3 Massa das larvas	22
6 DISCUSSÃO	23
7 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1 INTRODUÇÃO

O processo de decomposição, seja ele vegetal ou animal, é algo imprescindível quando referente ao ciclo biológico de um ser vivo, sendo também necessário para a permanência e sucessão da vida dentro de um ecossistema, visto que carbono, sódio, fósforo, nitrogênio e outros nutrientes, que serão introduzidos ao solo (Carter *et al.*, 2006), bem como o próprio corpo de um ser em decomposição, podem ser uma fonte de recurso indispensável para outro organismo vivo.

Por se tratar de uma matéria orgânica imprevisível e efêmera, quando um corpo animal morto se encontra em um ambiente, este desencadeia um acúmulo de biodiversidade no local, por se tratar de um pulso concentrado de recurso, que buscam e disputam pelo domínio da carcaça e do material biológico proveniente dela. Vale lembrar que, apesar de matéria orgânica vegetal representar cerca de 99% da matéria em decomposição presente no ambiente (Carter *et al.*, 2006), uma grande quantidade de animais morre por diversas causas além da predação, e suas carcaças, principalmente de mamíferos, são mais ricas em nutrientes comparada aos vegetais (Carter *et al.*, 2007; Parmenter & MacMahon, 2009).

Estudos importantes nessa área colocam em foco a entomofauna associada a decomposição, por se tratar de grandes agentes para entender de que forma ocorre a ciclagem de nutrientes (Oliveira-Costa, 2008). Os insetos constituem o grupo de animais mais dominante da Terra, atualmente contando com mais de um milhão de espécies descritas, ocupando os mais variados habitats possíveis. Parte desse sucesso evolutivo, se deve a capacidade de colonizar novos habitats, a sua biologia reprodutiva, e sua morfologia, mas também pelo fato de terem grande flexibilidade na busca de utilização de recursos alimentares (Wilson, 1971).

Em grande maioria, possuem uma gama alimentar muito extensa, podendo ser herbívoros, como é o caso de pragas agrícolas, ou carnívoros, podendo ser predadores ou parasitas de outras espécies, até mesmo se alimentando de sangue ou outros fluidos corporais, sendo assim, carcaças de animais em decomposição acabam se tornando uma fonte rica para esses insetos, chamados de necrófagos.

A priori, quando se pensa em insetos que buscam seus recursos em carcaças, a ordem Diptera sempre ganha foco nas pesquisas científicas, principalmente as famílias Sarcophagidae e Calliphoridae. Isso se deve ao fato de serem especialistas em relação a esse recurso, gerando o enfoque que a entomologia forense tem para com essa ordem, o que acaba refletindo nos estudos envolvendo ecologia de decomposição no âmbito mundial. Já no Brasil, tradicionalmente, os estudos sobre a decomposição de carcaças de animais mortos também

avaliam primariamente o papel das moscas, porém pesquisas envolvendo os besouros neste processo também ganham foco (Barros *et al.*, 2008).

A maioria dos trabalhos indicam que esses seres vivos causam na matéria animal um padrão de decaimento sigmoide (Carter *et al.*, 2006), isso devido ao ciclo das moscas, o que contrasta com a ação de carniceiros vertebrados que removem a carcaça de uma só vez. Entretanto, há evidências de que formigas (Hymenoptera: Formicidae) são importantes agentes removedores de carcaça, ainda que nosso conhecimento sobre elas neste processo em específico seja comparativamente muito menor. De fato, em uma análise sobre o papel dos insetos sobre a decomposição de carcaças, foram encontrados mais de 400 artigos relevantes envolvendo díptera e coleóptera, porém apenas 70 envolvendo formigas (Eubanks *et al.*, 2019).

As formigas (Hymenoptera: Formicidae) são um grupo de insetos bastante diverso, com aproximadamente 15 mil espécies conhecidas em todo o mundo (ANTCAT, 2023). Embora a maioria das espécies seja onívora, seus hábitos alimentares são diversificados, havendo espécies que dependem basicamente de recursos produzidos por plantas, outras que se especializaram em consumir outros insetos, e aquelas que são oportunistas generalistas, podendo obter seus recursos diretamente de carcaças em decomposição (pelos, tecido, couro, osso) (Early & Goff 1986; Martinez *et al.*, 1997; Moretti & Ribeiro 2006; Santos-Junior *et al.*, 2014).

Dessa forma, a importância das formigas como agentes removedores da biomassa de carcaças ainda é pouco discutida, e tenderia a variar bastante entre as espécies, dependendo dos hábitos alimentares e também da morfologia, podendo acelerar ou atrasar o grau de decomposição. Por exemplo, formigas de hábitos carnívoros, como as do gênero *Solenopsis*, podem ser bastante importantes no processo de decomposição de carcaças, visto que podem retirar material biológico da carcaça, mas também podem enterrar a mesma, assim modificando o grau de decomposição do animal (Lindgren *et al.*, 2011). Foi discutido também que o tamanho da formiga pode vir a ser relevante nesse processo (Nooten *et al.*, 2022). Porém as evidências para tais estudos são fracas, e a maioria do que se sabe vem de observações, tornando o diferencial pesquisas que focam em quantificar a ação das formigas nesse processo.

Fato é, as formigas apresentam um potencial para a remoção de carcaças, e estão entre os primeiros insetos a chegarem no recurso, e ficam em todos os estágios da decomposição, inclusive após as larvas de moscas já terem se dispersado (Payne, 1965; Eubanks *et al.*, 2019; Campobasso *et al.*, 2009), o que pode vir a modificar o grau de decomposição em relação ao tempo de exposição, podendo ser em níveis mais altos ou mais baixos dependendo das condições gerais em que o material biológico ficou exposto (Byard *et al.*, 2005).

Outro fator, que pode vir a modificar o grau de decomposição da carcaça é a competição por recurso que ocorre entre as formigas e outras espécies de insetos, como as moscas, mas também devido a própria predação, já que formigas e vespas são capazes de remover adultos e larvas de dípteros e coleópteros, bem como se alimentar dos mesmos (Paula *et al.*, 2016; Campobasso *et al.*, 2009).

Formigas associadas a carcaças também ganham visibilidade uma vez que são capazes de criar artefatos em cadáveres humanos que podem ser confundidos com mutilações e outros ferimentos, dificultando assim o trabalho dos legistas dependendo do grau de remoção de tecido causado pelos insetos (Byard, 2005; Byard & Health, 2014; Campobasso *et al.*, 2009).

As formigas do gênero *Atta*, conhecidas como saúvas ou formigas cortadeiras de folha, são exclusivas da região neotropical e desenvolveram o hábito de cultivar fungo usando como substrato folhas frescas principalmente. Entretanto, elas podem coletar outros materiais para o cultivo do fungo, incluindo folhas mortas, flores, sementes, frutos e até mesmo fezes. Além disso, não é incomum encontrar formigas cortadeiras em carcaças. Por esse motivo, a ação das saúvas passou a ter um interesse maior em relação à ecologia da decomposição, e até mesmo quanto a biologia forense (Souza, 2020). De modo geral, pouco foi pesquisado sobre a ação das formigas cortadeiras em carcaças de vertebrados, principalmente no que se diz respeito ao tempo de exposição do material biológico, o qual, como dito anteriormente, tende a modificar o grau de decomposição da carcaça (Byard *et al.*, 2005).

Não está claro se o material removido de carcaças pelas formigas-cortadeiras de folha é de fato utilizado no cultivo de fungo, ou qualquer outra funcionalidade. Entretanto, sabe-se que estas formigas, durante o forrageamento, tendem a selecionar materiais ricos em nitrogênio (Mundim *et al.*, 2009) e nesse sentido, os tecidos animais podem ser uma importante fonte desse nutriente para as formigas e seu fungo mutualista.

Morfologicamente, as *Atta* têm seu aparelho bucal adaptado para o corte, principalmente as operárias, as quais desempenham tarefas específicas como a própria coleta de materiais vegetais, carregamento do mesmo para suas colônias, e de defesa contra potenciais ameaças. Dessa forma, essa adaptação facilitaria a remoção de tecido, pelos, ossos, órgãos e outras partes mais rígidas de animais mortos. Outra questão que deve ser levada em conta quando pensamos no potencial efeito das formigas cortadeiras de folha na retirada de partes físicas da carcaça, é o fato de suas colônias serem bastante populosas, podendo promover assim um trabalho mais efetivo e por sua vez, modificando mais o material biológico exposto.

Levando em conta o potencial das formigas no processo de decomposição e a falta de estudos com formicídeos associados a carcaças no Cerrado, o presente trabalho utilizou *Atta laevigata* como modelo de estudo de remoção de carcaça de ratos (*Rattus norvegicus*), tendo como foco, o decaimento de biomassa da carcaça pela ação das formigas, no período de 72 horas de exposição.

2 HIPÓTESE

Baseando-se nos fatos apresentados, principalmente em relação a ação de formigas sob um material biológico em decomposição, a hipótese do presente trabalho é que carcaças expostas a *Atta* sejam removidas mais rapidamente do que as não expostas, e que a taxa de decaimento diário se mantenha constante. Em contrapartida, quando não há ação das formigas, com o passar do tempo, a remoção será acelerada, juntamente com um decaimento tardio e mais abrupto.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos Gerais

Analisar a perda de biomassa em *Rattus norvegicus* pela ação das formigas-cortadeiras da espécie *A. laevigata*, no decorrer de 72 horas, comparando ao processo que apenas foi realizado por moscas.

3.2 Objetivos Específicos

3.2.1 Quantificar a perda de biomassa em carcaças de *Rattus norvegicus* na presença (próximo a trilha de forrageamento) e na ausência (tratamento de exclusão) de *A. laevigata*;

3.2.2 Quantificar a perda de biomassa após 24, 48 e 72 horas de exposição do material biológico;

3.2.3 Verificar se há diferença no padrão de decaimento de biomassa da carcaça entre os dois tratamentos, “*Atta*” e “exclusão”, em cada um dos intervalos de tempo;

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O experimento foi realizado na Reserva Ecológica do Panga (19°10'51.308"S 48°23'31.093"O), localizada às margens da MGC-455, rodovia que liga Uberlândia a Campo Florido, e trata-se de uma unidade de conservação da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), e que possui 403,85 ha de Cerrado (Figura 1).

A Reserva do Panga abriga diversas espécies da flora e da fauna características do Cerrado, atualmente sendo catalogadas cerca de 46 espécies de mamíferos, 310 espécies de formigas, 1.111 espécies de plantas, 21 espécies de morcegos, 16 espécies de anuros e 95 espécies de abelhas, nas diversas fitofisionomias presentes na reserva (UFU, 2017).

Seguindo a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região se caracteriza como tropical de savana, ou savânico, "Aw", com verão quente e úmido, e inverno frio e seco (Rosa *et al.*, 1991). A temperatura média da região é de 22.8°C e precipitação anual de aproximadamente 1500 mm, apresentando meses mais úmidos, de outubro até abril, e meses mais secos, de maio à setembro. Em relação ao solo, há predominância de latossolo vermelho-escuro e vermelho-amarelo, podendo ser moderadamente ou fortemente ácidos (Embrapa, 1982).

Dentre todas as espécies de formigas já registradas, as saúvas também estão presentes nesse bioma (Costa & Viera-Neto, 2019). Sendo assim, os dados foram coletados ao longo de estradas e trilhas adjacentes a vegetação de cerrado (Figura 2), uma vez que este tipo de ambiente concentra colônias de formigas-cortadeiras (Vasconcelos *et al.*, 2006).



Figura 1. Reserva Ecológica do Panga, delimitado pelo pontilhado amarelo, às margens da MGC-455.

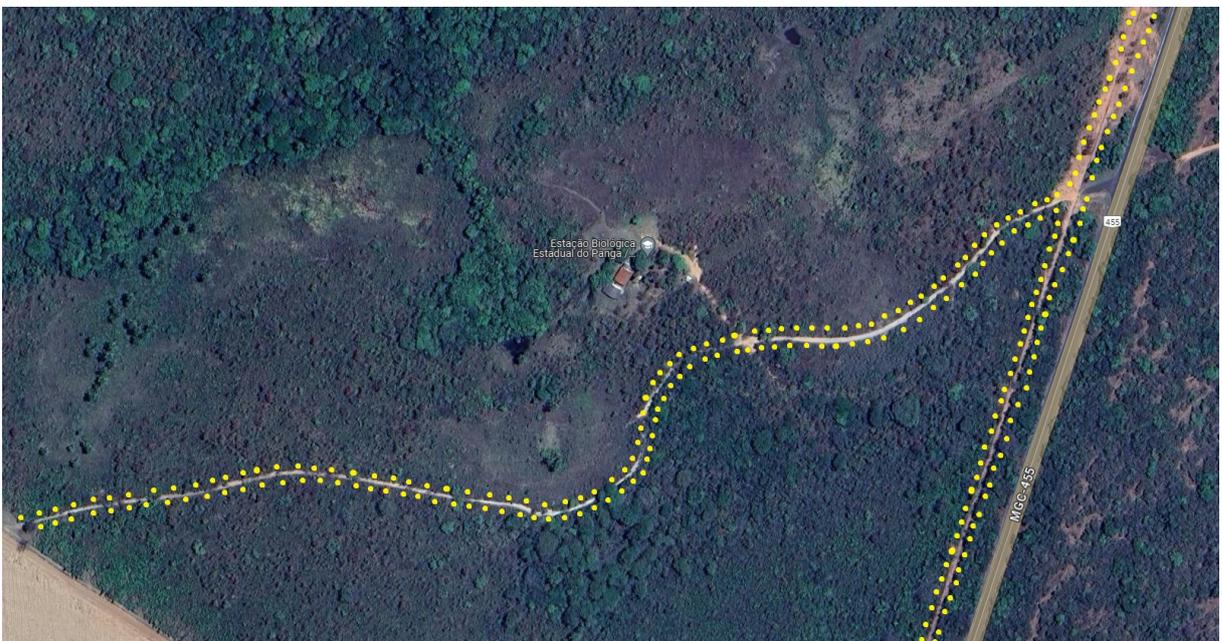


Figura 2. Representado pelo pontilhado amarelo, a estrada principal que corta a reserva, e onde de fato foi realizada as coletas.

4.2 Delineamento Experimental

O trabalho foi realizado entre os meses de dezembro de 2023 e fevereiro de 2024, época de maior incidência de chuva, sendo realizado quatro repetições, com intervalo de uma semana entre elas, sendo as observações sempre no período da tarde, aproximadamente entre as 14:30 e 15 horas.

Para ser utilizado como material biológico, foi escolhido carcaças de *Rattus norvegicus*, devido a facilidade de obter os ratos pelo biotério da universidade (UFU), os quais pesavam em média 74.7 ± 9.24 g, portanto ratos menores, desmamados, tanto macho quanto fêmea. Em cada semana, foram usadas 12 carcaças de *Rattus norvegicus*, totalizando 48 carcaças utilizadas ao final do experimento. Eventualmente, colônias em que carcaças foram perdidas por ações de vertebrados maiores, foram desconsideradas na análise dos resultados.

Primeiramente, antes de realizar a montagem, foram escolhidas as trilhas de forrageamento de *A. laevigata*, onde poderiam ser observadas operárias maiores, indicando que estas não eram colônias incipientes. A busca pelas trilhas foi realizada durante a noite, período de maior atividade destas formigas, sendo priorizada uma distância de pelo menos 80 metros entre o início das trilhas.

Para cada colônia de *Atta*, o que também será chamado de “Bloco”, as carcaças foram divididas em dois tratamentos, distantes entre si por cerca de cinco metros: (i) carcaça posicionada ao lado da trilha, a fim de permitir o acesso destas formigas, chamado de “Tratamento *Atta*”. (ii) carcaça na qual o acesso por formigas foi impedido por meio de um anel de PVC e aplicação de cola entomológica, chamado de “Tratamento Exclusão”.

Todas as carcaças de ambos os tratamentos foram envolvidas com uma gaiola metálica afixada ao solo por meio de estacas de ferro, protegendo contra a ação de vertebrados maiores, mas com espaçamento que permitia a entrada de formigas e outros insetos. Além disso, foi colocada uma malha metálica de espaçamento de 1mm sob todas as carcaças, as quais também foram presas levemente com arames na própria malha, para evitar que besouros necrófagos a enterrassem, evitando também o escape de larvas mais ativas que poderia vir a se desprender da carcaça e cair no solo, dificultando sua captura.

As gaiolas foram reforçadas na parte superior e nas laterais com grade metálica, presas com braçadeiras para que não houvesse nenhuma mobilidade, resultando no diâmetro mínimo de 2,5 cm (Figura 3).



Figura 3. Visão lateral de uma gaiola usada para o “Tratamento *Atta*”.

Para o “Tratamento Exclusão”, primeiramente, com auxílio de uma pá, a terra foi cavada para ficar mais próxima a um formato circular, para que segurasse o anel de PVC o mais firme possível ao solo, dificultando que as formigas passassem por baixo do anel. Já a cola entomológica foi utilizada apenas em volta na parte superior do anel, cerca de 5cm da borda para o meio, assim impedindo que formigas pudessem escalar sua parede e chegassem até a carcaça (Figura 4).



Figura 4. Gaiola usada para o “Tratamento Exclusão”; visão inclinada para melhor visualização do anel de PVC e da malha utilizada sob a carcaça.

4.3 Pesagem

Foram realizadas pesagens diárias com todas as carcaças de ambos os tratamentos, retirando a grade de proteção e pesando com uma balança eletrônica na própria Reserva Ecológica do Panga (Figura 5). As pesagens ocorreram aproximadamente às 15 horas, respeitando a ordem em que as carcaças foram posicionadas, após as 24 e 48 horas de exposição. Após 72 horas, além de serem pesadas em campo, foram retiradas e levadas para o laboratório, onde as larvas de moscas foram removidas para pesagem separadamente da massa da carcaça.



Figura 5. Foi utilizada balança eletrônica para a pesagem no próprio campo, a fim de não movimentar a carcaça e partes mais moles se desprenderem.

Para obter uma estimativa da quantidade de larvas que estariam presentes nas carcaças após 24 horas e 48 horas, e que não seriam recolhidas, foi utilizado mais um tipo de tratamento classificados como “Testemunhas”, os quais contam com ambos tratamentos iniciais porém diferentemente do anterior, essas carcaças foram retiradas do campo após o intervalo de 24 e 48 horas de exposição, e levadas ao laboratório para pesagem após o mesmo processo de remoção das larvas das carcaças, a fim de evitar superestimar a perda de biomassa das carcaças nesses dias de amostragem.

Ao todo, no decorrer das quatro semanas, foram pesadas 48 carcaças de *Rattus norvegicus*, sendo dessas, 32 carcaças divididas entre “Tratamento *Atta*” e “Tratamento Exclusão”, e 16 carcaças para “Testemunha”, divididas entre testemunha de *Atta* e para exclusão.

4.4 Análise de dados

Para todas as variáveis mensuradas, as análises estatísticas consistiram no ajuste de modelos lineares mistos no *software* Rstudio (Posit Team, 2023), com o pacote lme4 (Bates et al. 2015). Quando houve significância estatística em fatores com mais de dois níveis, os contrastes entre os níveis de cada grupo foram feitos com o pacote emmeans (Length, 2021), com p ajustado pela correção de Bonferroni. Como o experimento foi estruturado em blocos, a identidade da colônia (Bloco) foi utilizada como fator aleatório em todos os modelos.

Para a massa das carcaças em cada um dos quatro tempos (inicial, 24 h, 48 h, 72 h), o modelo consistiu na massa da carcaça como variável resposta, e como variáveis preditoras, foram usados tratamento (*Atta* ou exclusão), tempo (inicial, 24 h, 48 h, 72 h) e a interação entre as duas.

Para a análise do decaimento diário, a lógica foi a mesma do modelo anterior, porém, não foram utilizados a massa da carcaça, e sim a perda diária de massa em cada um dos intervalos de tempo (inicial a 24h, 24 h a 48h e 48h a 72h). Também foi levado em conta a interação do tratamento em relação ao intervalo.

Já para a massa de larvas em específico, foi realizado uma análise mais simples, utilizando a massa de larvas como variável resposta e tratamento como preditora, nesse caso, não levando em consideração nenhuma interação ou o intervalo de tempo. Além disso, foi comparado a massa de larvas de moscas necrófagas encontradas ao fim do experimento, para atestarmos o quanto de fato de material biológico foi removido e quanto do peso que foi aferido em campo é da biomassa total das larvas.

5 RESULTADOS

Para melhor representação visual do experimento, foram retiradas fotos da mesma colônia em intervalos de tempos diferentes, dessa forma é possível notar a alteração do estado da carcaça quando essa sofreu ação das saúvas e quando o processo contou apenas com a presença de moscas. Posteriormente, os resultados obtidos foram separados para quantificarmos com maior precisão o decaimento da carcaça para cada tratamento.



Figura 6. Carcaça do “Tratamento *Atta*”, colônia 13, 48 e 72 horas de exposição, respectivamente.



Figura 7. Carcaça do “Tratamento Exclusão”, colônia 13, 48 e 72 horas de exposição, respectivamente.



Figura 8. Carcaça do “Tratamento *Atta*”, colônia 4, 48 e 72 horas de exposição, respectivamente. Presença também de *Camponotus sericeiventris* nas 48 horas.



Figura 9. Carcaça do “Tratamento Exclusão”, colônia 4, 48 e 72 horas de exposição, respectivamente.

Visualmente, a priori, é possível notar uma grande diferença nas carcaças expostas as *Atta* logo nas 48 horas em comparação ao outro tratamento. Percebe-se ausência do rabo e de pele nos membros inferiores e superiores, bem como o crânio mais limpo, além da região abdominal muito mais exposta e aberta. Já na “Exclusão”, temos o corpo muito mais intacto nas primeiras 48 horas.

Após as 72 horas, é possível notar que houve uma maior quebra do corpo físico em ambos os tratamentos, porém, a ação das saúvas teve caráter de “limpeza”, ao removerem primeiramente tecido, pele e órgãos da carcaça, deixando o osso praticamente limpo com uma maior exposição. Em contrapartida, as larvas de moscas preservam o tecido mais superficial do rato, usando como recurso principalmente a parte interna do animal.

5.1 Massa das carcaças

Os resultados em relação a perda de massa da carcaça de *Rattus norvegicus* entre os tempos em que a mesma ficou exposta, mostraram significância estatística, tanto no tratamento ($F_{1, 55} = 61.14, p < 0.001$), mas também o tempo ($F_{3, 56} = 108.57, p < 0.001$), bem como a própria interação entre eles ($F_{3, 56} = 9.08, p < 0.001$).

No “Tratamento *Atta*”, foi possível notar que houve diferença entre todos os tempos em que foram pesadas (Figura 10), indicando também, que a atividade das formigas sob a carcaça teve um efeito significativo e constante na redução da massa dos ratos, e conseqüentemente acelerando o grau de decomposição.

Já para o “Tratamento Exclusão”, é possível notar que não houve diferença significativa nos primeiros dias em que a carcaça ficou exposta, porém esta foi muito mais acentuada no último dia de experimento (Figura 10). Isso indica que na ausência das formigas a remoção da biomassa acontece de forma mais lenta, mas se intensificando quando as larvas depositadas pelos dípteros começam a serem mais efetivas na remoção do material biológico.

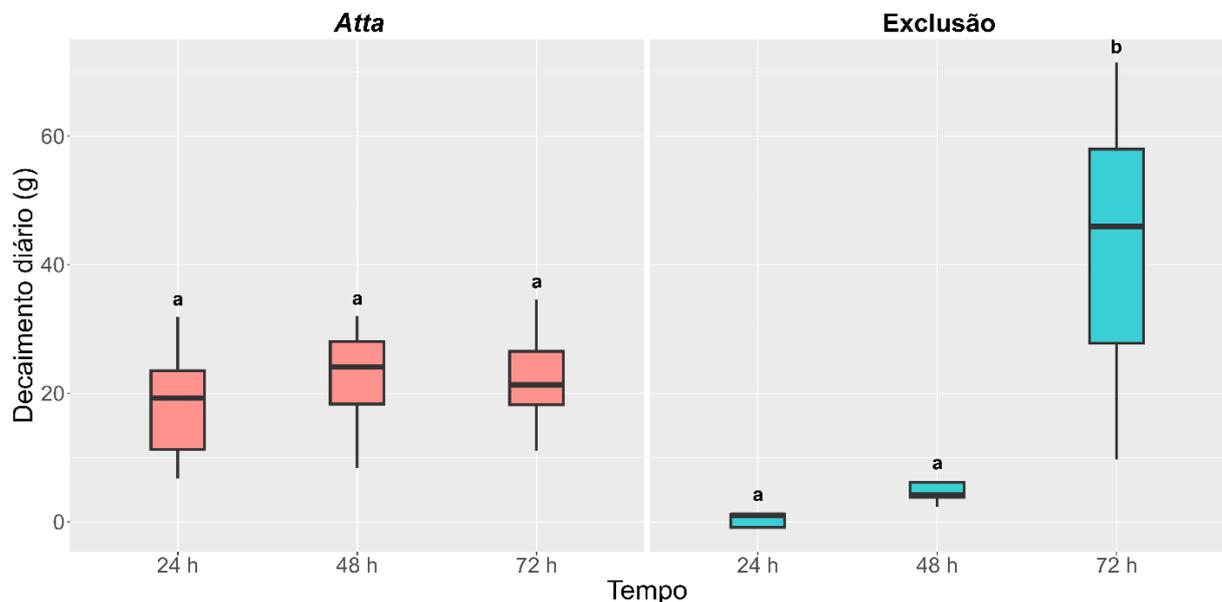


Figura 10. Massa da carcaça aferida nos três intervalos de tempo para os tratamentos *Atta* (gráfico a esquerda) e exclusão (gráfico a direita). As letras acima de cada boxplot indicam as diferenças de massa entre os tempos em cada tratamento.

5.2 Decaimento diário de massa

Para o decaimento diário em cada intervalo de tempo, ou seja, o quanto de massa a carcaça perdeu em cada dia de exposição, foi verificada uma estatística significativa, quando analisado a interação entre o tratamento e intervalo de tempo ($F_{2, 40} = 12.82, p < 0.001$).

O decaimento diário da massa das carcaças expostas às trilhas de *Atta* não variou entre os dias e, em média, as carcaças deste tratamento perderam 21.7 ± 10.2 g, sendo possível notar a partir da proximidade das médias nos intervalos individuais. Fato esse, que reflete na ausência de diferença significativa, a qual não foi encontrada pelos testes estatísticos. Em contrapartida, as carcaças que não estavam sujeitas à ação das formigas, perderam em média apenas 3.76 ± 5.85 g nos dois primeiros intervalos, enquanto no último houve um decaimento de 42.2 ± 23.2 g, sendo essa sim, uma diferença muito discrepante (Figura 11).

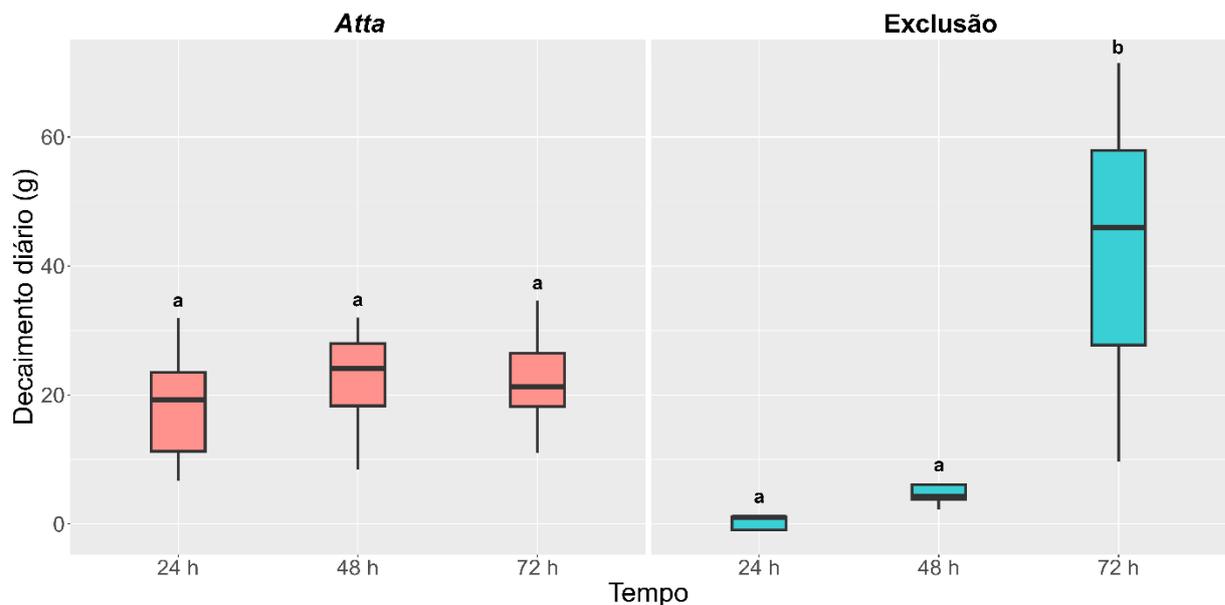


Figura 11. Decaimento diário dado em gramas para os tratamentos *Atta* e Exclusão. As letras demonstram se houve ou não diferença significativa entre os intervalos de tempo, nesse caso, no tratamento *Atta* não houve diferenças entre as médias, mas no tratamento Exclusão ocorre uma diferença no último dia de exposição.

5.3 Massa das larvas

Foi aferido também a massa das larvas retiradas de cada carcaça, ao final das 72 horas de exposição, e que também variou dependendo do tratamento ($\chi^2 = 4.69$, $df = 1$, $p = 0.03$) (Figura 12). Como resultado para as carcaças em trilhas de *Atta laevigata*, a massa das larvas obteve média de 3.09 gramas (desvio padrão: ± 5.30 g), as quais comportaram bem menos larva ao final do tratamento comparada às exclusões de formiga, as quais obtiveram média de 8.88 gramas (desvio padrão: ± 8.01 g). Dessa forma, é importante analisar o aumento da massa das larvas próximo às 72 horas de exposição, mas que só é perceptível no tratamento que impossibilitava a chegada de formigas.

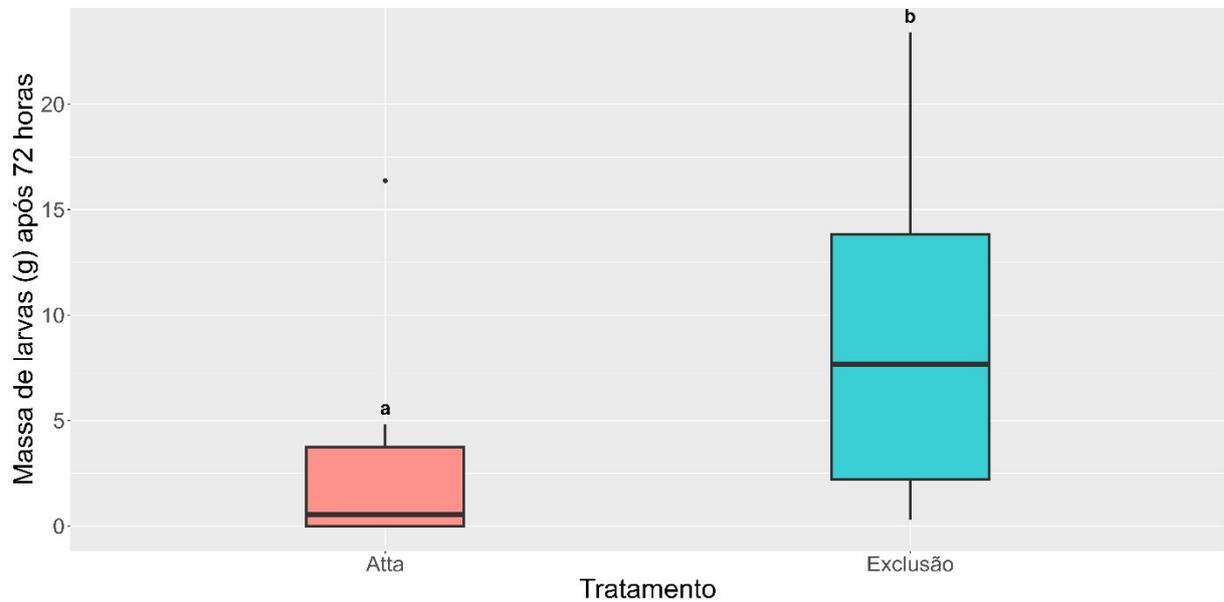


Figura 12. Massa das larvas obtidas ao final das 72 horas de exposição em cada um dos tratamentos.

Para que não fossem gerados valores subestimados, também foi analisado os dados encontrados para as “Testemunhas” (Figura 13). A média da massa das larvas para as testemunhas do tratamento *Atta* de 24 horas foi de 0,10g, e de 48 horas foi de 0,99g, enquanto para o tratamento exclusão, as médias para as 24 horas foi de 0,29g, e para as 48 horas 6,28g. Tais valores comprovaram que os resultados obtidos em campo em cada intervalo foram de fato de biomassa removida, e não de peso de larva, as quais não foram separadas da carcaça nas duas primeiras pesagens do experimento.

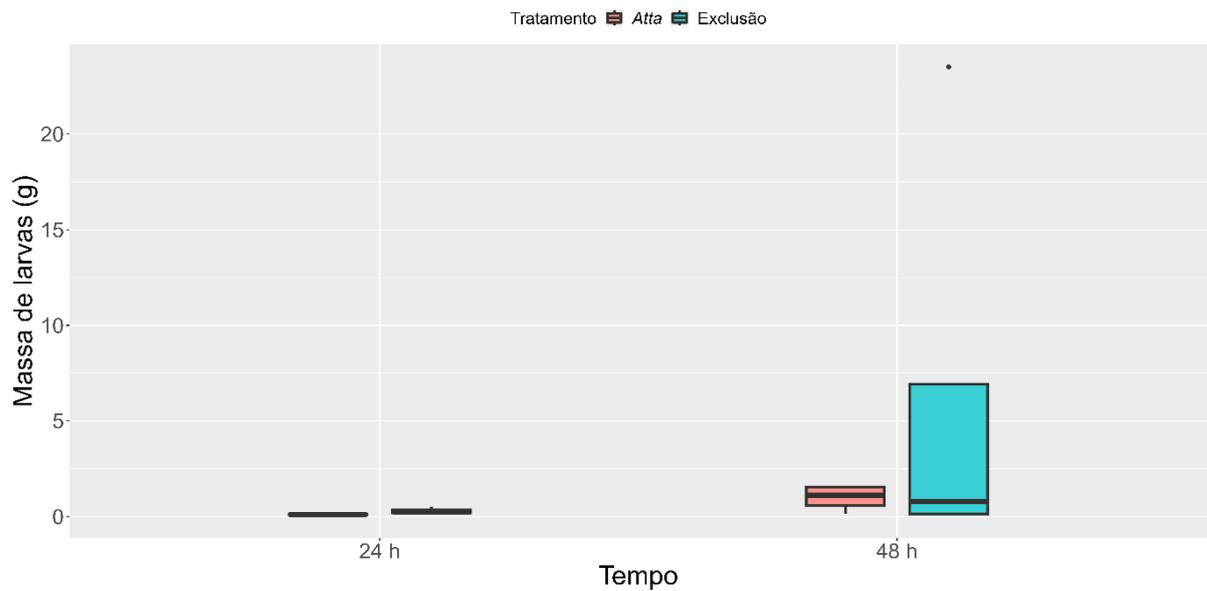


Figura 13. Massa das larvas obtidas em 24 e 48 horas de exposição em cada tratamento.

6 DISCUSSÃO

Este estudo analisou o papel das formigas cortadeiras, especificamente *Atta laevigata*, na decomposição de carcaças de *Rattus norvegicus* em um ecossistema de Cerrado. Os resultados demonstram que a presença de *A. laevigata* acelera significativamente a decomposição das carcaças, a partir do decaimento muito mais rápido e constante da massa dos ratos, o qual só é de fato alterado, na ausência de formigas, quando se encontra após as 48 horas, quando as larvas de moscas se tornam maiores e mais ativas, evidenciando ainda mais a importância dessa formiga para com os processos de decomposição (Souza, 2020; Eubanks *et al.*, 2019). A taxa de remoção observada no tratamento com as *Atta* foi substancialmente maior em comparação com o tratamento de exclusão nas primeiras 48 horas de exposição, evidenciando o papel crítico dessas formigas na ciclagem de nutrientes no Cerrado. Importante analisar o padrão observado em ambos os tratamentos, os quais obtiveram um resultado final muito próximo em relação a quantidade de massa removida, porém com valores iniciais bem distintos.

A literatura preexistente, é amplamente focada em Diptera e Coleoptera como principais agentes de decomposição, com estudos anteriores destacando as famílias Sarcophagidae e Calliphoridae, devido ao seu papel proeminente na entomologia forense (Carvalho *et al.*, 2000; Barros *et al.*, 2008). No entanto, os resultados obtidos sugerem que essas formigas são agentes também importantes na decomposição de carcaças, um aspecto que anteriormente não foi amplamente abordado na literatura científica. Isso ressalta a necessidade de uma reavaliação do papel dos invertebrados na decomposição, expandindo o foco para além dos tradicionalmente estudados Diptera e Coleoptera.

Um aspecto interessante revelado pela presente pesquisa, é a diferença significativa na massa de larvas encontradas nas carcaças em tratamentos com e sem a presença de *A. laevigata*. Este resultado pode indicar uma competição por recursos entre as formigas e outros decompositores, como sugerido por Paula (*et al.*, 2016) e Campobasso (*et al.*, 2009), que discutiram como a competição interespecífica pode influenciar a taxa de decomposição, nesse aspecto as *Atta* se mostraram fortes competidoras pela exploração do recurso, dificultando o ciclo biológico das moscas devido a não sobrar quantidade de substrato adequada. Já para o desvio padrão acentuado que ocorre principalmente na Exclusão, uma hipótese que surge, é que as larvas se dispersariam do recurso antes das 72 horas completas.

Adicionalmente, a habilidade das formigas em modificar fisicamente uma carcaça, pode ter implicações significativas para a biologia forense, uma vez que comprovado que formigas de outras espécies podem gerar artefatos em corpos humanos (Byard, 2005), destacando assim a necessidade de considerar a atividade das formigas do gênero *Atta* na interpretação dos estágios de decomposição em cadáveres.

Além disso, não existem outros estudos que possibilitariam uma comparação entre outros dados obtidos com os resultados deste trabalho, tanto para outras espécies de formigas quanto principalmente a *A. laevigata*, bem como a própria metodologia utilizada, a qual foi pensada justamente para esse modelo de experimento.

No entanto, nosso estudo possui limitações. A pesquisa foi realizada em uma localidade em que existem outras espécies de formigas, as quais também se interessavam pelas carcaças, como *Camponotus sericeiventris* as quais se comportavam de maneira a remover e carregar o material biológico para suas colônias, e as formigas do gênero *Solenopsis*, que enterravam o recurso atrasando o processo de decomposição. Além disso, o uso exclusivo de carcaças de *R. novgicus* pode não capturar a complexidade das interações entre formigas e uma gama mais ampla de carcaças animais.

Vale ressaltar que o tratamento das “Testemunhas” só foi realizado para que não houvesse erro discrepante entre as massas coletadas dos outros tratamentos, o que de fato foi efetivo, já que a massa das larvas não se mostrou impreciso e determinante apenas os resultados nas 72 horas.

Outra curiosidade que nasce desse estudo, é qual seria a motivação por parte das formigas que as levam em busca das carcaças, as quais são conhecidas por terem sua alimentação basicamente do fungo que as mesmas cultivam, mas que ao se depararem com esse recurso imprevisível, demonstraram atividade constante e até mesmo competição pela carcaça. Portanto, estudos futuros deveriam explorar a diversidade de interações entre diferentes espécies de formigas e uma variedade de carcaças em múltiplos ecossistemas, mas também buscar entender de que forma as formigas utilizam o material biológico obtido; se ele é efetivamente incorporado aos jardins de fungo ou eventualmente descartado sobre a superfície do ninho.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo corrobora a hipótese que de fato as *A. laevigata* causaria um padrão de remoção de biomassa diferente do tratamento em sua ausência. gerada perante a necessidade de se ampliar as pesquisas em relação ao papel das formigas na decomposição de outros animais, foi assertiva. Foi destacado o potencial das saúvas na aceleração do grau de decomposição de carcaças de *R. novergicus* no Cerrado, demonstrado a partir dos resultados da perda de massa e do decaimento diário do material exposto em campo, os quais, se comparado com o tratamento que não houve ação das formigas, foram mais rápidos e constantes.

Sugere-se que pesquisas futuras expandam o escopo para incluir diversas espécies de formigas e carcaças em diferentes ecossistemas, para melhor entender a contribuição relativa das formigas na decomposição de carcaças. Além disso, investigações sobre as interações competitivas e sinérgicas entre formigas e outros agentes decompositores, poderiam fornecer estudos valiosos sobre os processos ecológicos subjacentes à decomposição. A inclusão de tais perspectivas não só enriquecerá nossa compreensão da biologia forense, mas principalmente da ecologia da decomposição, e também informará estratégias de conservação e manejo em ecossistemas de Cerrado e além.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLTON, B. O catálogo online das formigas do mundo. 2024. Disponível em: <https://antcat.org>.

BYARD, R.W. Autopsy problems associated with postmortem ant activity. *Forensic Science Medical Pathology*, v. 1, n. 1, p. 37-40, mar. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1385/FSMP:1:1:037>.

BYARD, R.W.; HEATH, K.J. Patterned postmortem ant abrasions outlining clothing and body position after death. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, v. 26, p. 10-3, ago. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2014.04.022>.

CAMPOBASSO, C.P.; MARCHETTI, D.; INTRONA, F.; COLONNA, M.F. Postmortem artifacts made by ants and the effect of ant activity on decompositional rates. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, v. 30, n. 1, p. 84-7, mar. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e318187371f>.

CARTER, D.O.; YELLOWLEES, D.; TIBBETT, M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften*, v. 94, n. 1, p. 12-24, jan. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0159-1>.

CARVALHO, L.M.L., P.J. THYSSEN, A.X. LINHARES & F.A.B. PALHARES, 2000. A checklist of arthropods associated with pig carrion and human corpses in Southeastern Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 95: 135-138. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0074-02762000000100023>

COSTA, A. A.; ARAÚJO, G. M. DE. Comparação da vegetação arbórea de cerradão e de cerrado na Reserva do Panga, Uberlândia, Minas Gerais. *Acta Botanica Brasilica*, v. 15, n. 1, p. 63–72, jan. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000100008>

COSTA, A. N., VASCONCELOS, H. L., VIEIRA-NETO, E. H. M. & BRUNA, E. M. 2019. Adaptive foraging of leaf-cutter ants to spatiotemporal changes in resource availability in neotropical savannas. *Ecological Entomology* 44:227–238. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/een.12697>

EUBANKS, M.D.; LIN, C.; TARONE, A.M. The role of ants in vertebrate carrion decomposition. *Food Webs*, v. 18, 2019, e00109. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2018.e00109>.

FONSECA, A.R.; CAMPOS, R.B.F.; SILVA, G.F. Formigas em Carcaças de *Rattus norvegicus* (Berkenhout) em uma Área de Cerrado no Sudeste do Brasil: Riqueza e Abundância. *EntomoBrasilis*, v. 8, n. 1, p. 74–78, abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v8i1.460>.

GOFF, M.L.; WIN, B.H. Estimation of postmortem interval based on colony development time for *Anoploleptis longipes* (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Forensic Sciences*, v. 42, n. 6, p. 1176-9, nov. 1997.

HEATH, K.J.; BYARD, R.W. Ant activity as a source of postmortem bleeding. *Forensic Science Medical Pathology*, v. 10, n. 3, p. 472-4, set. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12024-014-9561-8>.

LACHAUD, J.-P.; PÉREZ-LACHAUD, G. Ectaheteromorph ants also host highly diverse parasitic communities: a review of parasitoids of the Neotropical genus *Ectatomma*. *Insectes Sociaux*, v. 62, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00040-015-0390-x>.

LACHAUD, J.-P.; PÉREZ-LACHAUD, G. Impact of natural parasitism by two eucharitid wasps on a potential biocontrol agent ant in southeastern Mexico. *Biological Control*, v. 48, n. 1, p. 92-99, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.09.006>.

LINDGREN, Natalie K. et al. Exclusão de moscas forensicamente importantes devido ao comportamento de enterrar pelas formigas de fogo importadas vermelhas (*Solenopsis invicta*) no sudeste do Texas. *Forensic Science International*, v. 204, n. 1-3, 2011, p. e1-e3. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.05.016>.

MORETTI, T.C. & O.B. RIBEIRO, 2006. *Cephalotes clypeatus* Fabricius (Hymenoptera: Formicidae): hábitos de nidificação e ocorrência em carcaça animal. *Neotropical Entomology* 35: 412-415. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000300019>

NOOTEN, S.S.; CHAN, K.H.; SCHULTHEISS, P.; BOGAR, T.A.; GUÉNARD, B. Ant body size mediates functional performance and species interactions in carrion decomposer communities. *Functional Ecology*, v. 36, p. 1279–1291, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14039>.

OLIVEIRA-COSTA, J. *Entomologia Forense: quando os insetos são vestígios*. Campinas: Millennium, 2008.

PAULA, Michele Castro de. *Formigas associadas a carcaças de suínos (Sus scrofa Linnaeus, 1758) e seu papel na sucessão ecológica durante o processo de decomposição*. 2014. Dissertação (Mestrado em Entomologia e Conservação da Biodiversidade) - Faculdades de Ciências Biológicas, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014.

PARMENTER, R.R. & MACMAHON, J.A., 2009. Carrion decomposition and nutrient cycling in a semiarid shrub-steppe ecosystem. *Ecological Monographs* 79, 637–661. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/08-0972.1>

PAYNE, J.A. A Summer Carrion Study of the Baby Pig *Sus Scrofa* Linnaeus. *Ecology*, v. 46, p. 592-602, 1965. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1934999>.

PEREIRA, E.K.C.; ANDRADE-SILVA, J.; SILVA, O.; SANTOS, C.L.C.; MORAES, L.S.; BANDEIRA, M.C.A.; SILVA, C.R.R.; REBÊLO, J.M.M. *Solenopsis saevissima* (Smith) (Hymenoptera: Formicidae) Activity Delays Vertebrate Carcass Decomposition. *Sociobiology*, v. 64, n. 3, p. 369–372, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v64i3.1266>.

Posit team. *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Posit Software, PBC, Boston, MA. 2023. Disponível em: <http://www.posit.co/>.

Reserva Ecológica do Panga | UFU. Disponível em: <https://ufu.br/unidades-organizacionais/reserva-ecologica-do-panga>.

ROSA, R.; LIMA, S. C.; ASSUNÇÃO, W. L. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). *Sociedade & Natureza*, v. 3, p. 91-108, 1991.

SOUZA, Alexandre Ariel da Fonseca de. Mirmecofauna associada a carcaças de porcos (*Sus Scrofa* Linnaeus, 1758) em duas áreas de Cerrado no Distrito Federal. 2020. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

VASCONCELOS, H.L.; VIEIRA-NETO, E.H.M.; MUNDIM, F.M.; BRUNA, E.M. Roads Alter the Colonization Dynamics of a Keystone Herbivore in Neotropical Savannas. *Biotropica*, v. 38, p. 661-665, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00180.x>.

WILSON, E. O. 1971. *The insect societies*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, x + 548 pp.