



**JÚLIA VANESSA DE SOUSA BARBOSA**

**DIMENSÕES DAS TRILHAS DE FORRAGEAMENTO E O  
TAMANHO DOS NINHOS DE *Atta sexdens* (L.)  
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE)**

**LAVRAS - MG  
2021**

**JÚLIA VANESSA DE SOUSA BARBOSA**

**DIMENSÕES DAS TRILHAS DE FORRAGEAMENTO E O TAMANHO DOS  
NINHOS DE *Atta sexdens* (L.) (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Entomologia, linha de pesquisa em Controle Biológico e Manejo Integrado de Pragas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho  
Orientador  
Prof. Dr. José Cola Zanuncio  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2021**

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

Barbosa, Júlia Vanessa de Sousa.

Dimensões das trilhas de forrageamento e o tamanho dos  
ninhos de *Atta sexdens* (L.) (Hymenoptera: Formicidae) / Júlia  
Vanessa de Sousa Barbosa. - 2021.

45 p. : il.

Orientador(a): Ronald Zanetti Bonetti Filho.

Coorientador(a): José Cola Zanuncio.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. *Atta sexdens*. 2. Formigas cortadeiras. 3. Forrageamento. I.  
Bonetti Filho, Ronald Zanetti. II. Zanuncio, José Cola. III. Título.

**JÚLIA VANESSA DE SOUSA BARBOSA**

**DIMENSÕES DAS TRILHAS DE FORRAGEAMENTO E O TAMANHO DOS  
NINHOS DE *Atta sexdens* (L.) (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)**

**DIMENSIONS OF THE FORAGING TRAILS AND NESTS SIZE OF *Atta sexdens* (L.)  
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Entomologia, linha de pesquisa em Controle Biológico e Manejo Integrado de Pragas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de abril de 2021.

Dr (a). Ana Maria Matoso Viana-Bailez (CCTA/UENF)

Dr (a). Maria Fernanda Gomes Villalba Peñaflor (DEN/UFLA)

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho

Orientador

Prof. Dr. José Cola Zanuncio

Coorientador

**LAVRAS - MG  
2021**

## DEDICATÓRIA

*À minha mãe Mônica e à Jessica, por todo amor, por acreditarem no meu potencial e me inspirarem a ser um ser humano melhor.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo em minha vida. Pela proteção e força durante as idas ao campo e realização deste trabalho.

A minha mãe pelo amor incondicional. Pelo exemplo de honestidade e determinação.

A minha companheira, amiga e parceira de profissão Jessica, por me apoiar, por estar ao meu lado em todos os momentos e pelas contribuições durante a execução deste trabalho.

A Felícia, minha inseparável filha canina, por todo amor.

Ao Prof. Ronald Zanetti pela orientação, por todo apoio, confiança e compreensão.

Ao Prof. José Cola Zanuncio pelo apoio e orientação.

Ao Programa de Pós-graduação em Entomologia da UFLA por todo apoio e oportunidades.

A Universidade Federal de Lavras por tantas oportunidades e acolhimento.

A CENIBRA Celulose Nipo-Brasileira S.A pela parceria e por ceder as áreas e demais recursos para que este trabalho pudesse ser realizado.

A Caroline Abreu e ao Rinaldo Félix (CENIBRA), pelo enorme apoio durante as atividades de campo e fora dele.

Aos colaboradores da CENIBRA, Geovane, Juciney, Elias, Moisés, Samuel e Sandro pelo apoio durante os dias e noites de avaliações.

A equipe de vigilância da MAGNUS, a equipe de CFTV e da Casa de Hóspedes da CENIBRA por todo apoio e atenção durante as atividades de campo e estadia.

A Kênia, Alexandre, Enzo, Julius e Mateus pela disposição em me auxiliar nas coletas de campo. Foram muitas noites de sono perdidas e sustos noturnos, mas vivemos bons momentos!!!

A todos os amigos e parceiros do “Lab MIP”, por todo apoio, carinho e momentos de descontração.

A Eliana Andrade (Leia), por sua imensa bondade, amizade e contribuição neste e tantos outros trabalhos.

A minha amiga e companheira de lar, Gabriela Rezende, pela amizade, por todo apoio e companhia durante as “cervejinhas”.

Aos meus amigos Lucas, Thiago, Karlinha, Werismar, Fabiana, Lorena e Tainá por serem tão incríveis e seres de luz na minha vida.

A Kênia, Ana Luiza, Marina e Fernanda da república *Carpediem* por me aceitarem como agregada e pela amizade.

A cidade de Lavras pelo clima agradável e pelos ipês.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –

Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). **Muito obrigada!**

## RESUMO

As formigas cortadeiras formam trilhas de forrageamento para coletar vegetal fresco, utilizado no cultivo do fungo do qual se alimentam. Diversos fatores podem influenciar o forrageamento desses insetos e, conseqüentemente, suas trilhas, como as condições climáticas e o tamanho da colônia. Entender as relações entre esses fatores e a dinâmica de trilhas é importante para a ecologia e o manejo desse importante herbívoro neotropical. O objetivo deste trabalho foi avaliar as relações entre as dimensões das trilhas de forrageamento e o tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*, durante o período seco e chuvoso. Em eucaliptais no bioma Mata Atlântica, foram selecionados 60 formigueiros de diferentes tamanhos e categorizados em seis classes de tamanho, com dez ninhos cada classe. Para cada ninho, foram obtidos o número e comprimento das trilhas químicas e físicas, largura das trilhas físicas, e distância dos olheiros de alimentação até os ninhos. Os dados foram analisados com modelagem gamlss e glmmtmb utilizando o software R. O número e comprimento das trilhas químicas e físicas e a largura das trilhas físicas utilizadas por *Atta sexdens* aumentaram com o tamanho dos seus ninhos, porque colônias maiores tem maior capacidade de ampliarem suas áreas de forrageamento. *Atta sexdens* utilizou mais trilhas físicas do que trilhas químicas. Sabe-se que a utilização de trilhas físicas aumenta a capacidade de forrageamento, com maior quantidade de folhas transportadas em menor tempo. A distância dos olheiros de alimentação até o formigueiro e a área de forrageamento aumentaram com o tamanho dos ninhos. Formigueiros maiores possuem mais força de trabalho para escavar túneis mais extensos, por onde forrageiam com maior segurança em relação a dessecação e estão mais aptos a utilizarem um sistema de trilhas mais amplo. O número e comprimento das trilhas, a distância dos olheiros até o ninho e a área de forrageamento foram maiores na estação seca, já que colônias demandam mais alimento na fase pré-revoada. *Atta sexdens* utilizou trilhas físicas mais largas no período chuvoso, pois precisa garantir a eficiência de busca por alimento nessa época de maior precipitação, que reduz o tempo de forrageamento. Este estudo permite entender a dinâmica no uso das trilhas de forrageamento por *Atta sexdens* e o impacto da sua herbivoria na vegetação nativa e comercial, o que pode contribuir para melhorar as estratégias de manejo desse importante herbívoro.

**Palavras-chave:** Trilhas químicas e físicas. Formigas cortadeiras. Herbivoria. Eucaliptais.

## ABSTRACT

Leaf-cutting ants make foraging trails to collect fresh vegetation, used to cultivate the fungus on which they feed on. Several factors can influence the foraging of these insects and, consequently, their trails, such as weather conditions and colony size. Understanding the relationships between these factors and trails dynamics is important for the ecology and management of this important Neotropical herbivore. The objective of this work was to evaluate the relationships between the dimensions of foraging trails and the size of *Atta sexdens* nests, during the dry and rainy season. In eucalyptus trees in the Atlantic Forest biome, 60 nests of different sizes were selected and categorized into six size classes, with ten nests each. For each nest, the number and length of chemical and physical trails, width of physical trails, and distance from feeding hole to the nests were obtained. Data were analyzed with `gamlss` and `glmmtnb` modeling using R software. The number and length of chemical and physical trails and the width of physical trails used by *Atta sexdens* increased with the size of their nests, because larger colonies have greater capacity to expand their foraging areas. *Atta sexdens* used more physical trails than chemical ones. It is known that the use of physical trails increases the foraging capacity, with more leaves being transported in less time. The distance from the feeding hole to the nest and the foraging area increased with the nests size. Larger nests have more workforce to dig longer tunnels, through which they forage with greater safety in relation to desiccation and they are more apt to use a wider trail system. The number and length of trails, the distance from hole to the nest and the foraging area were greater in the dry season, as colonies demand more food in the pre-flight phase and the resources are scarce. *Atta sexdens* used wider physical trails in the rainy season, as it needs to ensure the efficiency of the search for food at this time of greater rainfall, which reduces foraging time. These results allow us to understand the dynamics in the use of foraging trails by *Atta sexdens* and the impact of its herbivory on native and commercial vegetation, which can contribute to improving the management strategies of this important herbivore.

**Keywords:** Chemical and physical trails. Leaf-cutting ants. Herbivory. Eucalyptus plantations.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** – Mapa de localização dos municípios de Belo Oriente e Periquito, MG. ....20
- Figura 2.** – Número de trilhas químicas (A) e físicas (B) com atividade de forrageamento em ninhos de *Atta sexdens* em função do tamanho dos ninhos, nos períodos seco e chuvoso.  $N = 270$  trilhas químicas e 94 trilhas físicas no período chuvoso, 392 trilhas químicas e 252 trilhas físicas no período seco. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%. ....23
- Figura 3.** – Comprimento total das trilhas químicas e físicas em função do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*.  $N = 662$  trilhas químicas e 346 trilhas físicas. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%. ....25
- Figura 4.** – Largura média das trilhas físicas em função do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*.  $N = 64$  no período chuvoso e 240 no período seco. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%. ....26
- Figura 5.** – Distância dos olheiros de alimentação até o monte de terra solta em função do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*.  $N = 220$  no período chuvoso e 458 no período seco. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%. ....26
- Figura 6.** – Área média (A) e máxima (B) de forrageamento, em função do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*, nos períodos seco e chuvoso.  $N = 364$  de área média e máxima no período chuvoso, 644 de área média e máxima no período seco. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%. ....27

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1.</b> – Valores médios de cada variável por classe de tamanho, nos períodos seco (S) e chuvoso (C). Entre parênteses estão representados os valores mínimo e máximo, respectivamente. .... | 24 |
|---|----|

## SUMÁRIO

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | INTRODUÇÃO.....                                       | 12 |
| 2   | OBJETIVOS.....  | 13 |
| 2.1 | Objetivo geral.....                                   | 13 |
| 2.2 | Objetivos específicos.....                            | 13 |
| 3   | HIPÓTESES.....  | 14 |
| 4   | REFERENCIAL TEÓRICO.....                              | 14 |
| 4.1 | Importância das formigas cortadeiras.....             | 14 |
| 4.2 | FORAGEAMENTO das formigas cortadeiras.....            | 16 |
| 4.3 | Trilhas de forrageamento.....                         | 18 |
| 5   | METODOLOGIA.....                                      | 20 |
| 5.1 | Áreas de estudo e tamanho dos ninhos.....             | 20 |
| 5.2 | Medição da distância dos olheiros de alimentação..... | 21 |
| 5.3 | Medição das trilhas e da área de forrageamento.....   | 21 |
| 5.4 | Análises.....   | 22 |
| 6   | RESULTADOS.....                                       | 23 |
| 7   | DISCUSSÃO.....  | 28 |
| 8   | CONCLUSÃO.....  | 35 |
|     | REFERÊNCIAS.....                                      | 36 |

## 1 INTRODUÇÃO

As formigas cortadeiras do gênero *Atta*, conhecidas como saúvas, são insetos herbívoros da região Neotropical (HÖLLDOBLER; WILSON, 2008). *Atta sexdens* Linnaeus (Formicidae) é uma das espécies de maior ocorrência no Brasil, presente em todos os biomas brasileiros (FORTI *et al.*, 2020). Esses insetos são conhecidos como engenheiros do ecossistema, pois atuam em vários processos ecológicos que beneficiam as populações de plantas e melhoram as propriedades físico-químicas dos solos (FERNANDEZ-BOU *et al.*, 2019).

As saúvas atuam na dispersão de sementes, ciclagem de nutrientes, acúmulo de carbono e aeração dos solos (CORRÊA *et al.*, 2016; SWANSON *et al.*, 2019). Por outro lado, a herbivoria causa distúrbios à vegetação, podendo alterar a comunidade das plantas atacadas (SILVA *et al.*, 2007). Tais consequências têm maiores efeitos devido às modificações nas paisagens, que contribuem para o aumento das populações destes e outros insetos herbívoros (LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2014). Outra consequência da herbivoria são os danos que elas causam em plantações florestais. Nestes cultivos as formigas cortadeiras são consideradas as principais pragas, uma vez que intensas desfolhas causadas por esses insetos resultam na redução da produtividade e, conseqüentemente, em prejuízos econômicos (ZANETTI *et al.*, 2014).

As formigas cortadeiras forrageiam em busca de vegetal fresco e retornam ao ninho com os fragmentos que são incorporados ao fungo cultivado em câmaras subterrâneas (HÖLLDOBLER; WILSON, 2008; BURD; HOWARD, 2005). As atividades que vão desde a procura por plantas até o incremento do material ao fungo chamadas de forrageamento, ocorrem por trilhas que saem de olheiros de alimentação, abertos a diferentes distâncias dos ninhos (SCHLINDWEIN, 2004; RIBEIRO; MARINHO, 2011).

As trilhas de forrageamento podem ser de dois tipos: trilhas químicas, que são formadas pela deposição de feromônio na superfície do solo, sem remoção da serapilheira e orienta as operárias no forrageamento (GERBIER *et al.*, 2008); e trilhas físicas, que também apresentam pontos de feromônio, e são formadas pela remoção total da serapilheira na superfície do solo por onde as formigas transitam durante o forrageamento (HOWARD, 2001; FARJI-BRENER *et al.*, 2007).

A construção e manutenção das trilhas e o desempenho do forrageamento são afetados por diversos fatores, como a necessidade nutricional da colônia (SILVA *et al.*, 2003),

disponibilidade e distância do recurso vegetal (CORRÊA *et al.*, 2016; COSTA; BRUNA; VASCONCELOS, 2018; GARCIA-ROBLEDO *et al.*, 2018), temperatura (DIAMOND, 2017; BAAREN; CANDOLIN, 2018), precipitação e umidade relativa do ar (ROCES; PIELSTRÖM, 2014; FARJI-BRENER *et al.*, 2018), entre outros fatores e são cruciais na manutenção das colônias e jardins do fungo simbiote (SOUSA-SOUTO; SCHOEREDER; LIMA, 2008; RÖMER *et al.*, 2018). Sob esta perspectiva, diversos estudos avaliaram o forrageamento das formigas cortadeiras para responder como as condições bióticas e abióticas afetam esta atividade (COSTA *et al.*, 2008; FARJI-BRENER *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2013; MUNIQUE; CALIXTO, 2018; BOUCHEBTI *et al.*, 2019).

As trilhas apresentam diferentes tamanhos e formas conforme a capacidade de forrageamento das colônias e a distância do recurso (RIBEIRO; MARINHO, 2011). Sabe-se que colônias mais jovens apresentam trilhas mais curtas e simples, ao contrário de ninhos adultos, que apresentam redes de trilhas mais complexas (KOST *et al.*, 2005). No entanto, não se conhece as relações entre as dimensões das trilhas e o tamanho dos ninhos de *Atta sexdens* durante os períodos secos e chuvosos. Por isso, é essencial a busca por mais conhecimentos sobre essas relações para contribuir com a ecologia e o manejo deste importante herbívoro.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens* sobre as dimensões de suas trilhas de forrageamento, durante o período seco e chuvoso, em eucaliptais.

### **2.2 Objetivos específicos**

a) Avaliar a relação entre o tamanho dos ninhos de *Atta sexdens* e o número, o comprimento das trilhas químicas e físicas, a largura das trilhas físicas e a distância dos olheiros de alimentação até o monte de terra solta do ninho, utilizados durante o forrageamento, no período seco e chuvoso.

b) Estimar a área de forrageamento de *Atta sexdens* em função do tamanho dos seus ninhos, no período seco e chuvoso.

### 3 HIPÓTESES

I) O comprimento e o número de trilhas químicas e físicas e a largura das trilhas físicas, utilizadas durante o forrageamento por *Atta sexdens*, aumentam com o tamanho dos ninhos. Trilhas com maiores dimensões são utilizadas no período seco do ano

II) Formigueiros maiores de *Atta sexdens* utilizam olheiros de alimentação mais distantes dos ninhos, e essa distância é maior no período seco do ano.

III) A área de forrageamento de *Atta sexdens* aumenta proporcionalmente com o tamanho dos ninhos, sendo maior no período seco do ano.

### 4 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 4.1 Importância das formigas cortadeiras

As formigas cortadeiras pertencem aos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, à subfamília Myrmicinae e à tribo Attini (Hymenoptera: Formicidae) (SCHULTZ; BRADY, 2008). São encontradas desde o sul dos Estados Unidos até a região central da Argentina, a exceção do Chile e algumas ilhas da América Central (DELABIE *et al.*, 2011). No Brasil, ocorrem cerca de 25 espécies do gênero *Acromyrmex* e 9 espécies do gênero *Atta* (BOLTON *et al.*, 2006), este último inclui as espécies mais abundantes no território brasileiro (RANDO; FORTI, 2005).

A espécie *Atta sexdens*, popularmente conhecida como saúva-limão, escava seus ninhos com uma estrutura interna complexa, composta por diversas câmaras e túneis (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014). Um saúveiro adulto pode ter de 1.000 a mais câmaras subterrâneas (MOSER, 1967), e chegar a cerca de 5 metros de profundidade (FORTI *et al.*, 2011). Externamente, os saúveiros apresentam montes de terra solta em forma de funis, olheiros de escavação, olheiros de alimentação e trilhas de forrageamento (GRANDEZA; MORAES; ZANETTI, 1999).

Esses insetos são conhecidos como agricultores, que cultivam o próprio alimento (SILVA *et al.*, 2015). A herbivoria é fundamental para a manutenção do fungo *Leucoagaricus gongylophorus* Singer (Möller) (Agaricales: Agaricaceae) com o qual mantêm relação simbiótica e é fonte nutritiva da colônia, principalmente dos indivíduos jovens e da rainha (SCHULTZ; BRADY, 2008). O cultivo do fungo é mantido pela oferta de vegetal fresco como consequência das atividades de forrageamento (KHADEMPOUR *et al.*, 2016). Esse comportamento envolve a exploração do ambiente, seleção do recurso vegetal, recrutamento

de forrageadoras, corte e transporte dos fragmentos para dentro dos ninhos que serão incorporados aos jardins de fungo (RIBEIRO; MARINHO, 2011).

As formigas cortadeiras também são tidas como engenheiras do ecossistema (LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2014). Os resíduos orgânicos, gerados pelas formigas ou os restos de fungo, são descartados na forma de lixo (FARJI-BRENER; ILLES, 2000), estes rejeitos são reaproveitados por outros organismos (LEWIN *et al.*, 2016) e melhoram a fertilidade dos solos adjacentes aos ninhos (STERNBERG *et al.*, 2007; FARJI-BRENER; GHERMANDI, 2008). Entretanto, Farji-Brener e Werenkraut (2014) concluíram que há diferença na taxa de nutrientes entre lixos externos e subterrâneos, sendo os externos mais ricos em nutrientes. De acordo com Farji-Brener e Ghermandi (2004), Farji-Brener, Lescano e Ghermandi (2010) e Cerda *et al.* (2012), os resíduos gerados por *Acromyrmex lobicornis* Santschi, que são depositados sobre a superfície do solo, aumentaram a taxa de germinação e desenvolvimento de plantas nativas e exóticas quando cultivadas com os substratos dos ninhos ou próximo a área ocupada pelos formigueiros.

As formigas também forrageiam frutos e sementes (MEYER *et al.*, 2011; MONTROYA-LERMA *et al.*, 2012). O recrutamento de sementes por *Atta laevigata* Smith favoreceu o sucesso do estabelecimento da *Tapirira velutinifolia* (R.S. Cowan) Marcano-Berti (Sapindales: Anacardiaceae) em uma região de savana na Venezuela (FARJI-BRENER; SILVA, 1996). Por outro lado, Silva *et al.* (2007) concluíram que o recrutamento de sementes de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. (Sapindales: Burseraceae) (não mirmecocórica) por *Atta sexdens*, na Mata Atlântica, promoveu a dispersão a curta distância (0,25 m<sup>2</sup>), com altos níveis de agregação, que causou uma redução de 97,7% na taxa de sobrevivência das plântulas em 13 meses.

A estrutura interna dos ninhos é formada por diversas câmaras e túneis que tornam os solos mais porosos e maleáveis à penetração de raízes (FARJI-BRENER; SILVA, 1996). Moutinho *et al.* (2003) verificaram menor resistência e maior concentração de Ca, K e Mg em diferentes profundidades de ninhos da formiga cortadeira *Atta sexdens* em uma floresta secundária da Amazônia. Sendo insetos polípagos, as formigas cortadeiras cortam e transportam uma grande diversidade e quantidade de plantas para cultivar o fungo simbiote (CURRIE, 2001). Com isto, alguns estudos mostram que, dependendo da espécie e perturbações antrópicas nos ecossistemas, estas formigas atuam como filtros ecológicos, alterando a abundância e composição da vegetação (COSTA *et al.*, 2008; LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2014; COSTA; VASCONCELOS; BRUNA, 2017).

Em cultivos homogêneos, como em plantios de eucalipto, devido a abundância de alimento, baixa competição e ausência de inimigos naturais (SIQUEIRA *et al.*, 2017), as formigas cortadeiras são consideradas o principal inseto praga (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014). A intensa herbivoria reduz a produtividade e, conseqüentemente, causa prejuízos econômicos em plantios agrícolas e florestais (ZANETTI *et al.*, 2003; DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014).

As formigas cortadeiras são um dos insetos que mais afetam o desenvolvimento das florestas plantadas e repetidos ataques podem levar as plantas à morte (SOUZA; ZANETTI; CALEGARIO, 2011). A desfolha artificial total em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (Myrtales: Myrtaceae) reduziu o volume de madeira em 79,7% ao final do ciclo produtivo (MATRANGOLO *et al.*, 2010). Em plantios de eucalipto na região do Cerrado a produtividade de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt, eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) e *Eucalyptus tereticornis* Smith reduziu em 0,68%, 3,26% e 1,78%, respectivamente, a cada 2,76 m<sup>2</sup> de saúveiros por hectare (ZANETTI *et al.*, 2003). Porém, no bioma Mata Atlântica a redução foi de 0,4% (SOUZA; ZANETTI; CALEGARIO, 2011).

A herbivoria pelas formigas cortadeiras reduz a taxa fotossintética das plantas, afetando diretamente o desenvolvimento das espécies vegetais atacadas (SOARES, 2017). Uma perda de 35% foi observada por Oliveira *et al.* (2014), em *E. grandis* com seis meses de idade e 8 meses após a desfolha, contudo, ao final do ciclo produtivo essa perda foi de 13%.

#### **4.2 Forrageamento das formigas cortadeiras**

Durante o forrageamento as formigas cortadeiras enfrentam situações que colocam a busca por alimento em constante ameaça (TIZÓN; WULFF; PELÁEZ, 2014). A precipitação é uma das condições climáticas que afeta direta e indiretamente as operárias e o transporte de carga nas trilhas (WIRTH *et al.*, 1997; FARJI-BRENER *et al.*, 2018). Com a iminência de chuvas as forrageadoras passam a cortar fragmentos maiores do que suas capacidades e, durante o transporte acelerado, deixam cair suas cargas com mais frequência, que impacta diretamente na eficiência de forrageamento (FARJI-BRENER *et al.*, 2016). Sob chuvas fracas as formigas são desequilibradas pelas gotas de água e suas cargas são derrubadas (FARJI-BRENER *et al.*, 2018). Farji-Brener *et al.* (2018) verificaram que as operárias forrageando sob simulações de chuva, carregavam pedaços de folhas menores do que quando não eram molhadas e descartavam as cargas que estavam mais encharcadas pela água.

A temperatura é outro fator limitante para o forrageamento das formigas cortadeiras, pois afeta diretamente os processos fisiológicos desses insetos ectotérmicos (ANGILLETTA *et al.*, 2007). A resistência às temperaturas varia entre as espécies e conforme suas distribuições geográficas (DIAMOND, 2017). Avaliando a resistência ao calor de *Atta laevigata* e de *Atta capiguara* Gonçalves, Bouchebti *et al.* (2015) concluíram que essa última espécie é menos resistente ao calor, já que constroi túneis mais longos e profundos, e trilhas mais curtas do que a outra espécie.

Em resposta ao clima as formigas cortadeiras ajustam o padrão de forrageamento (RIBEIRO; MARINHO, 2011). Em três biomas brasileiros, a *Atta sexdens* apresentou um padrão de forrageamento noturno com temperaturas entre 19 e 23 °C (ABREU, 2015). Essa espécie nidifica em áreas mais sombreadas, sendo menos tolerante ao calor (COSTA; VIEIRA-NETO, 2016). Durante a estação seca, a *Atta capiguara* interrompe o forrageamento nos períodos mais quentes do dia (CALDATO *et al.*, 2016b). Giesel *et al.* (2013) observaram que a *Atta sexdens piriventris* Santschi cessou suas atividades em temperaturas abaixo dos 4°C e acima dos 26°C. A troca de informações entre as operárias, que ocorre através da liberação de feromônios e é essencial para o forrageamento, também é afetada pelas temperaturas elevadas, dado que acelera a degradação destas substâncias químicas nas trilhas (VAN OUDENHOVE *et al.*, 2011).

Outros fatores afetam o forrageamento das formigas cortadeiras, como o vento (ALMA; FARJI-BRENER; ELIZALDE, 2017), tamanho dos formigueiros e distribuição espacial entre eles (RIBEIRO; MARINHO, 2011), pressão barométrica (SUJIMOTO *et al.*, 2020), presença de predadores e parasitoides (KOST *et al.*, 2005; COCHET; LEÓN; ORTIZ-REYES, 2017).

As condições climáticas se modificam ao longo do ano e na maioria das regiões do Brasil a sazonalidade do clima não é bem acentuada, como em países de clima temperado que possuem as estações primavera, verão, outono e inverno bem definidas. Neste caso, as épocas do ano são caracterizadas em estação seca e chuvosa. A estação seca apresenta temperaturas amenas e com poucas chuvas, enquanto a estação úmida é marcada por índices de precipitação e temperaturas mais altas (REBOITA *et al.*, 2015). As variações climáticas podem afetar a formação das trilhas e as atividades de forrageamento das formigas cortadeiras (URBAS *et al.*, 2007; LOPES *et al.*, 2016). Colônias maduras de *A. sexdens* em uma floresta da Guiana Francesa reduziram a frequência de forrageamento da estação úmida para a seca, o contrário foi observado para colônias mais jovens da mesma espécie (KOST *et al.*, 2005). Em

um estudo com a *Atta capiguara* em uma região de Mata Atlântica verificou-se maior taxa de forrageamento na estação úmida (CALDATO *et al.*, 2016b). Todavia, a *Atta laevigata* apresentou um comportamento diferente no Cerrado, forrageando mais na estação seca (COSTA *et al.*, 2019).

### 4.3 Trilhas de forrageamento

A formação das trilhas na superfície do solo iniciam a partir de olheiros de alimentação que são abertos a diferentes distâncias dos ninhos (SCHLINDWEIN, 2004). Durante o forrageamento as operárias liberam um feromônio nas trilhas, chamado de feromônio de trilha (HÖLLDOBLER, 1995). Essa substância química, quando liberada por um indivíduo, provoca uma reação comportamental nas companheiras de mesmo ninho (MOSER, 1967). O feromônio de trilha é essencial para o sucesso do forrageamento, pois a partir da troca de informações entre as forrageadoras, a localização das fontes de alimento e transporte dos fragmentos vegetais aos ninhos são mais precisos, tendo efeito na eficiência do forrageamento (FARJI-BRENER *et al.*, 2010).

Ao encontrar uma planta palatável e com potencial nutritivo para o cultivo do fungo, as formigas que saíram a procura deste recurso voltam ao ninho para recrutar outras forrageadoras e marcam a trilha química tocando o gáster no solo (GERBIER *et al.*, 2008). Em um estudo feito em laboratório com a *Atta texana* Buckley, Moser (1967) relatou que as operárias desta espécie tocaram o abdômen no chão e depositaram feromônio de trilha em intervalos de 2 a 3 milímetros. Após a marcação da trilha, as demais operárias que saíram do ninho, perceberam a presença da substância por antenação e reforçaram a trilha química enquanto retornaram ao ninho com carga. O mesmo autor cita que este comportamento diminuiu após a trilha estar bem estabelecida.

As formigas que saem do ninho sem carga encontram com as que retornam ao ninho com carga e, principalmente por antenação, obtêm informações que as auxiliam na localização do recurso que está sendo explorado (BURD; ARANWELA, 2003). Ainda de acordo com esses autores, as formigas que estão saindo dos formigueiros também adquirem referências sobre as propriedades nutricionais e localização das plantas, ao tocarem os fragmentos que estão sendo transportados pelas companheiras de ninho. A liberação de substâncias químicas é fundamental para a comunicação entre as operárias durante o forrageamento das formigas cortadeiras e, somado a este comportamento, as formigas formam vias de acesso totalmente limpas de vegetação e outros detritos em seus limites, chamadas de trilhas físicas (FARJI-BRENER *et al.*, 2007).

Investir na construção e manutenção de trilhas físicas requer custo energético para as colônias, no entanto, estas trilhas podem ser utilizadas várias vezes, uma vez que persistem na superfície por um longo período de tempo (ANDERSON; MCSHEA, 2001; HOWARD, 2001). Em trilhas físicas a velocidade de deslocamento das operárias aumenta, assim, um menor número de forrageadoras é recrutado e os esforços de outras operárias podem ser direcionados à outras atividades (CEVALLOS DUPUIS; HARRISON, 2017; BOUCHEBTI *et al.*, 2019). A velocidade de operárias de *Atta laevigata* foi maior em trilhas físicas (BOUCHEBTI *et al.*, 2019). Porém, Farji-Brener *et al.* (2007) verificaram que operárias de *Atta cephalotes* Linnaeus com cargas maiores, reduziram o tempo de forrageamento ao caminhar sobre galhos caídos nas trilhas físicas. De acordo com os mesmos autores, isto pode ser explicado pelo uso adaptativo dessas estruturas neste tipo de trilha, assim como raízes expostas, que passam a fazer parte do sistema de trilhas físicas e, por terem uma superfície lisa, proporcionam aumento da velocidade de deslocamento, principalmente das operárias com cargas maiores e mais lentas.

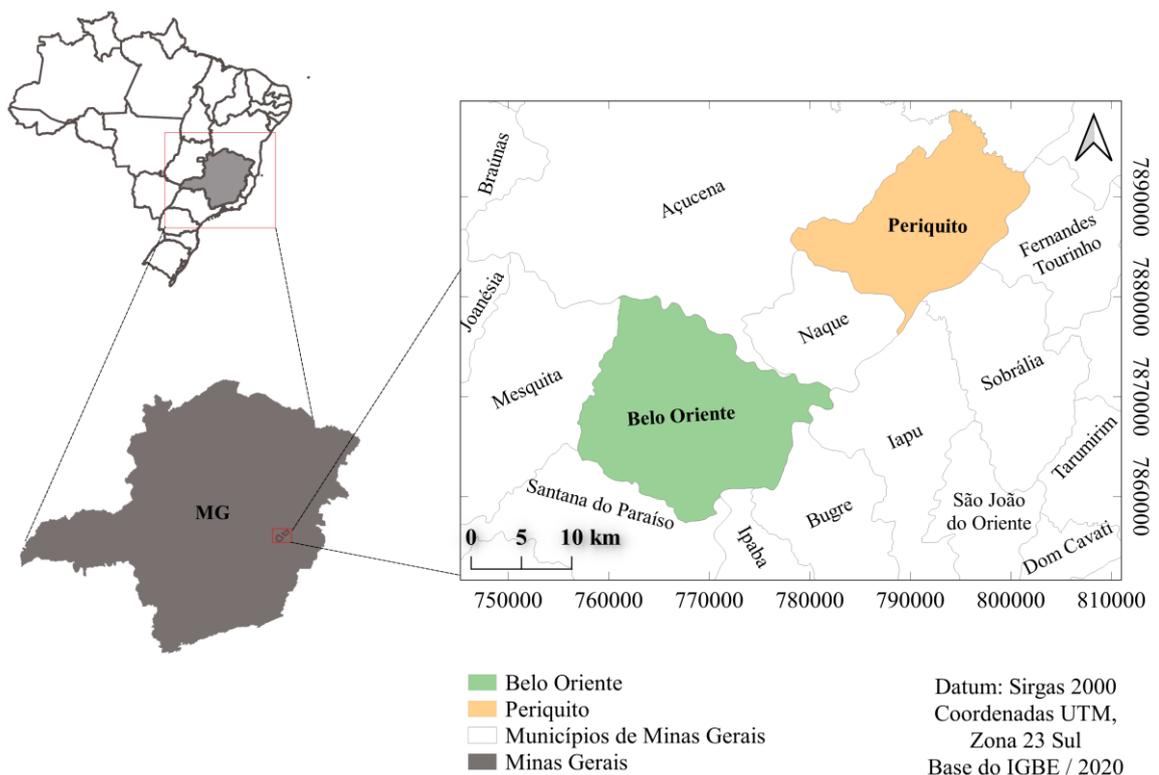
O comprimento das trilhas de forrageamento é bastante variável e está intimamente relacionado à distância do recurso selecionado (OLSSON; BROWN; HELF, 2008). As trilhas de *Atta sexdens* podem chegar a aproximadamente 200 metros de distância dos ninhos (FOWLER; ROBINSON, 1979), mas, normalmente, o forrageamento ocorre por distâncias menores, cerca de 85 metros (SCHLINDWEIN, 2004). Bruce e Burd (2012) verificaram uma redução no fluxo de operárias de *Atta colombica* Guérin-Ménéville e *A. cephalotes* em trilhas físicas mais extensas. O comprimento e a largura das trilhas reflete na eficiência de forrageamento (FARJI-BRENER *et al.*, 2015). Fourcassié *et al.* (2010) sugerem que o transporte de cargas de volta ao ninho tende a diminuir em trilhas maiores, já que haverá redução na quantidade de feromônio depositado nessas trilhas, expondo as operárias a desorientação. Trilhas mais largas reduzem os encontros e as trocas de informações entre formigas com e sem carga (STRÖMBOM; DUSSUTOUR, 2018). Avaliando a largura nos pontos de ramificações em trilhas de *A. cephalotes*, Farji-Brener *et al.* (2012) avaliaram que o efeito de borda diminuiu a velocidade dessas formigas em 20% em função da largura das trilhas. Em trilhas mais estreitas houve aumento no comportamento de pegar carona por formigas menores da *Acromyrmex subterraneus* Forel (HASTENREITER *et al.*, 2018).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Áreas de estudo e tamanho dos ninhos

O experimento foi realizado nos anos de 2019 e 2020, em plantios com *Eucalyptus* sp. localizados em dois municípios do estado de Minas Gerais. Sendo: Belo Oriente (19° 17' 49" S e 42° 23' 26" O, altitude 350 m), e Periquito (19° 09' 28" S e 42° 14' 02" O, altitude 231 m) (Figura 1), ambos os municípios estão sob domínio do bioma Mata Atlântica, e têm classificação climática tropical quente semiúmido AW (Köppen-Geiger) (REBOITA *et al.*, 2015).

**Figura 1.** – Mapa de localização dos municípios de Belo Oriente e Periquito, MG.



Fonte: Da autora (2021).

Foram selecionados 60 ninhos de *Atta sexdens*, categorizados nas seguintes classes de tamanho: Classe I: < 1 m<sup>2</sup>, II: 1 a 2,9 m<sup>2</sup>, III: 3 a 8,9 m<sup>2</sup>, IV: 9 a 18 m<sup>2</sup>, V: 18,1 a 36 m<sup>2</sup> e VI: 36,1 a 72 m<sup>2</sup> (GRANDEZA; MORAES; ZANETTI, 1999). As extremidades do monte de

terra solta de cada ninho foram marcadas com uma estaca de madeira, sendo medidos o maior comprimento e a maior largura do monte de terra solta para cálculo da área dos ninhos (m<sup>2</sup>) (GRANDEZA; MORAES; ZANETTI, 1999). Todos os ninhos foram georreferenciados com aparelho GPS (Garmin 64s). O tamanho dos ninhos e as dimensões de suas trilhas foram medidos nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2019, março, junho e julho de 2020. Os ninhos que mudavam de classe foram substituídos para manter o mesmo número de ninhos em cada classe de tamanho para todos os meses de avaliação. Ao final do experimento totalizaram-se 120 ninhos em dois talhões de 47,94 ha em Belo Oriente, MG e 52,62 ha em Periquito, MG.

Os meses de agosto e setembro de 2019, junho e julho de 2020 foram classificados como período seco e os meses de outubro, novembro e dezembro de 2019 e março de 2020 como período chuvoso (REBOITA *et al.*, 2015; TOUCHTENHAGEN; SANTOS; SOUZA, 2020). A precipitação acumulada durante o período chuvoso foi de 1158,34 mm e de 30,74 mm no período seco. Os dados de precipitação foram obtidos de estações climatológicas próximas às regiões de estudo, por mês de avaliação.

## **5.2 Medição da distância dos olheiros de alimentação**

Os olheiros que apresentaram atividade de forrageamento de cada saubeiro foram identificados e a distância (m) até o monte de terra solta dos respectivos ninhos foi medida com uma trena, nos meses mencionados no item acima. Olheiros localizados na sede dos formigueiros foram considerados com distância zero. Para identificar a qual ninho pertencia cada olheiro, exceto os olheiros que estavam abertos sobre o monte de terra solta, foi utilizada a metodologia adaptada de Fowler *et al.* (1993) com iscas artificiais (canudos plásticos cortados e misturados com polpa cítrica), colocadas no início e ao lado das trilhas que saíam destes olheiros, durante a atividade de forrageamento. Para mais de um olheiro, de origem duvidosa, foram utilizadas iscas de diferentes cores. Após 24 horas foi avaliada a devolução das iscas sobre o monte de terra solta para confirmar a qual ninho pertenciam estes olheiros (RAMOS, 2002).

## **5.3 Medição das trilhas e da área de forrageamento**

As trilhas foram divididas em: químicas – quando as formigas caminhavam sobre a serapilheira, sem removê-la e sem deixar uma trilha visível na superfície do solo; e físicas – quando as formigas removiam toda a vegetação da superfície do solo, deixando uma trilha visível. Para cada formigueiro foi obtido o comprimento (m) de todas as trilhas químicas formadas e trilhas físicas utilizadas durante o forrageamento. As trilhas foram medidas com

auxílio de trena, da saída dos olheiros de alimentação até o recurso explorado. Foram obtidas as larguras (cm) nas seções iniciais e finais de cada trilha física para posterior cálculo da largura média. As avaliações ocorreram durante o período (noturno) de maior atividade de forrageamento pelas formigas cortadeiras nas regiões de estudo.

Foi obtido o comprimento total (m) das trilhas de cada formigueiro pela soma do comprimento das trilhas químicas e das trilhas físicas, mais a distância (m) dos olheiros de alimentação até o monte de terra solta dos ninhos. Foi calculada a área potencial ( $A$ ,  $m^2$ ) de forrageamento média e máxima de cada ninho para cada mês de avaliação pela fórmula:  $A = \pi r^2$ , onde  $r$  (raio) foi o valor médio e máximo do comprimento total das trilhas de cada saueiro.

#### 5.4 Análises

Para verificar o efeito da área de terra solta dos ninhos sobre o número total de trilhas físicas e trilhas químicas com atividade de forrageamento nos períodos seco e chuvoso, foi ajustado modelo GAMLSS com distribuição Zero inflated negative binomial distribution (ZANBI).

Para avaliar a relação entre a área de terra solta dos formigueiros e o comprimento (m) total das trilhas físicas e trilhas químicas nos períodos seco e chuvoso, foi ajustada modelagem GAMLSS com distribuição Gamma distribution (GA).

A relação entre o tamanho dos formigueiros e a largura média das trilhas físicas foi verificada por ajuste de modelo GAMLSS com distribuição Generalized Gamma distribution (GG).

O efeito do tamanho dos ninhos sobre a distância dos olheiros de alimentação até o monte de terra solta, nos períodos seco e chuvoso, foi avaliado por ajuste de modelo glmmTMB com distribuição ziGamma para dados inflacionados por zero.

Para verificar o efeito da área de terra solta dos ninhos sobre a estimativa das áreas de forrageamento média e máxima nos períodos seco e chuvoso, foi ajustado modelos GALMSS com distribuição Generalized Beta Type 2 (GB2) para a área média e Generalized Inverse Gaussian Distribution (GIG) para a área máxima de forrageamento.

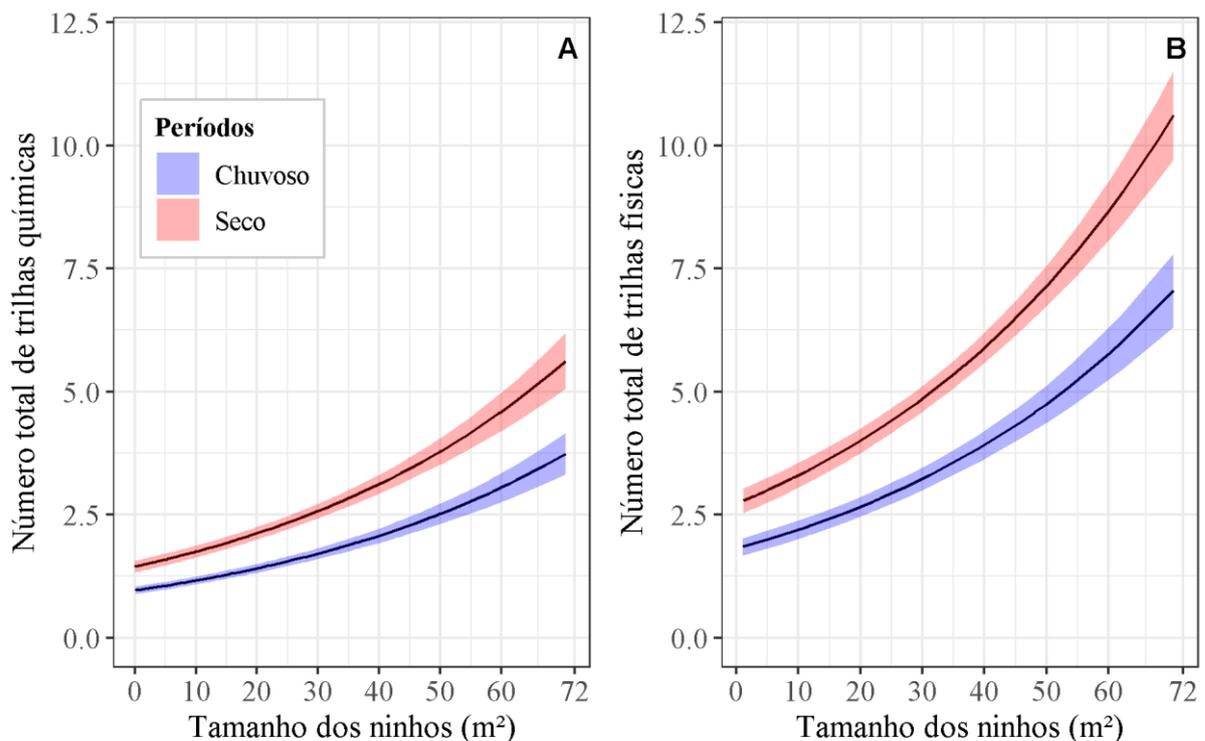
Todas as análises estatísticas e os gráficos gerados foram feitos com auxílio do software R 4.0.3 (R Development Core Team, 2021), utilizando os pacotes Gamlss (RIGBY; STASINOPOULOS, 2005), glmmTMB (BROOKS *et al.*, 2017), ggplot2 (VILLANUEVA; CHEN, 2019) e car (FOX; WEISBERG, 2019).

## 6 RESULTADOS

O número total de trilhas químicas e físicas com atividade de forrageamento aumentou em relação ao tamanho dos formigueiros ( $\text{Chi} = 68,298$ ,  $p < 0,001$ ,  $\text{pseudo-R}^2 = 0,19$ ) (Figura 2). Os formigueiros forragearam por mais trilhas físicas do que trilhas químicas ( $\text{Chi} = 49,031$ ,  $p < 0,001$ ) (Figura 2). O número total de trilhas químicas e físicas foi maior no período seco do que no chuvoso ( $\text{Chi} = 37,400$ ,  $p < 0,001$ ) (Figura 2).

As trilhas químicas com atividade de forrageamento foram observadas em ninhos a partir de  $0,03 \text{ m}^2$  de terra solta, enquanto o uso de trilhas físicas foi observado somente em colônias a partir de  $1,07 \text{ m}^2$  de terra solta (Figura 2). Ninhos menores que  $1 \text{ m}^2$  não apresentaram forrageamento por trilhas físicas. Os formigueiros forragearam por no mínimo uma trilha e utilizaram o máximo de 29, em um período de oito meses, entre trilhas químicas e físicas (Tabela 1).

**Figura 2.** – Número de trilhas químicas (A) e físicas (B) com atividade de forrageamento em ninhos de *Atta sexdens* em função do tamanho dos ninhos, nos períodos seco e chuvoso.  $N = 270$  trilhas químicas e 94 trilhas físicas no período chuvoso, 392 trilhas químicas e 252 trilhas físicas no período seco. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%.



Fonte: Da autora (2021).

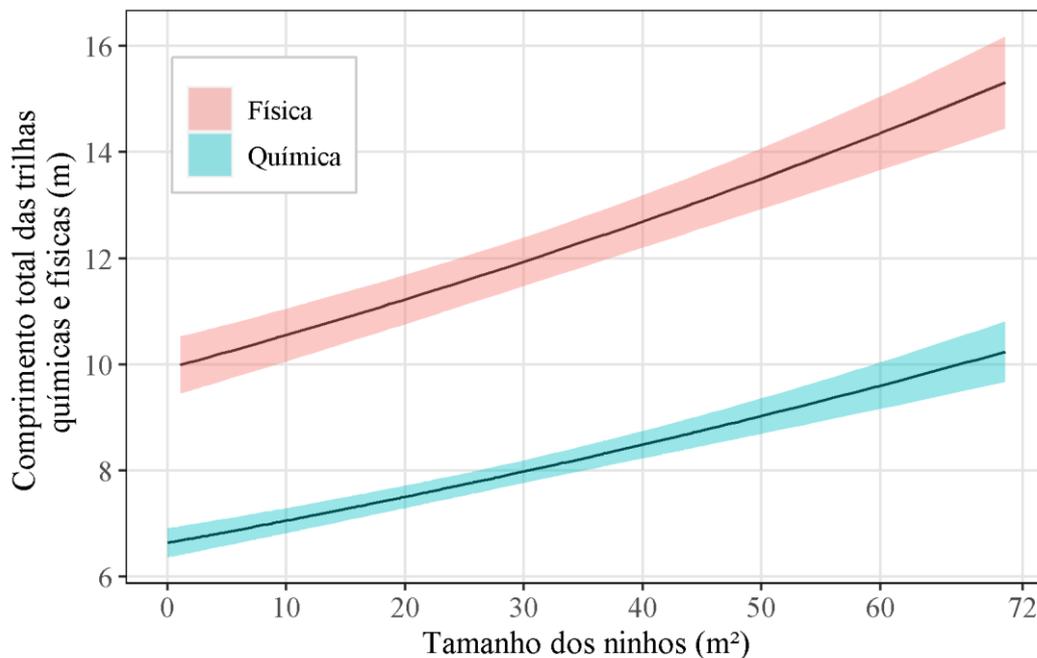
**Tabela 1.** – Valores médios de cada variável por classe de tamanho, nos períodos seco (S) e chuvoso (C). Entre parênteses estão representados os valores mínimo e máximo, respectivamente.

|                            | Período | Número de trilhas | Comprimento total das trilhas (m) | Largura das trilhas físicas (cm) | Distância dos olheiros (m) | Área de forrageamento (m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|
| Classe I                   | S       | 1<br>(1; 1)       | 2,5<br>(1,9; 3,4)                 | 0,0<br>(0; 0)                    | 0,1<br>(0; 0,4)            | 21,1<br>(21,1; 21,1)                    |
| (< 1m <sup>2</sup> )       | C       | 2<br>(1; 3)       | 2,4<br>(0,6; 3,72)                | 0,0<br>(0; 0)                    | 0,0<br>(0; 0)              | 20,0<br>(18,6; 20,9)                    |
| Classe II                  | S       | 3<br>(2; 5)       | 5,04<br>(0,3; 14,1)               | 7,2<br>(3; 9)                    | 1,9<br>(0; 6)              | 136,0<br>(104; 182)                     |
| (1 a 2,9m <sup>2</sup> )   | C       | 3<br>(2; 5)       | 4,8<br>(0,5; 11,5)                | 13<br>(13; 13)                   | 1,0<br>(0; 4,7)            | 91,7<br>(46,6; 143)                     |
| Classe III                 | S       | 7<br>(4; 12)      | 8,35<br>(0,3; 28,9)               | 7,2<br>(3; 11)                   | 3,5<br>(0; 8,6)            | 320,0<br>(125; 898)                     |
| (3 a 8,9m <sup>2</sup> )   | C       | 3<br>(2; 7)       | 10,4<br>(0,3; 34,9)               | 11,1<br>(6,5; 13)                | 3,1<br>(0; 13,6)           | 515,0<br>(351; 828)                     |
| Classe IV                  | S       | 6<br>(3; 11)      | 8,75<br>(0,3; 30,1)               | 5,5<br>(2,5; 11)                 | 3,2<br>(0; 9,8)            | 407,0<br>(163; 1025)                    |
| (9 a 18m <sup>2</sup> )    | C       | 4<br>(1; 7)       | 13,1<br>(2; 41,2)                 | 7,5<br>(6; 10)                   | 3,6<br>(0; 10,8)           | 725,0<br>(320; 1521)                    |
| Classe V                   | S       | 10<br>(5; 14)     | 8,7<br>(1; 44,2)                  | 7,2<br>(3; 13,5)                 | 4,0<br>(0; 13,8)           | 345,0<br>(98,2; 1357)                   |
| (18,1 a 36m <sup>2</sup> ) | C       | 7<br>(3; 14)      | 8,4<br>(1,01; 30,1)               | 7,5<br>(6,5; 8,5)                | 2,9<br>(0; 10,1)           | 245,0<br>(74,1; 787)                    |
| Classe VI                  | S       | 18<br>(10; 29)    | 11,0<br>(0,3; 41,6)               | 7,4<br>(2,5; 14,5)               | 4,6<br>(0; 16,4)           | 690,0<br>(109; 1670)                    |
| (36,1 a 72m <sup>2</sup> ) | C       | 8<br>(4; 13)      | 10,7<br>(1; 42,1)                 | 8,8<br>(5,5; 13,5)               | 4,3<br>(0; 13,7)           | 434,0<br>(149; 1239)                    |

Fonte: Da autora (2021).

O comprimento total das trilhas com atividade de forrageamento aumentou em relação ao tamanho dos formigueiros ( $\text{Chi} = 27,423$ ,  $p < 0,001$ ,  $\text{pseudo-R}^2 = 0,11$ ), sendo as trilhas físicas mais extensas do que as químicas ( $\text{Chi} = 75,040$ ,  $p < 0,001$ ) (Figura 3). Não houve diferença no comprimento total das trilhas em relação aos períodos seco e chuvoso ( $p = 0,0586$ ). A distância mínima percorrida por *Atta sexdens* durante o forrageamento variou de 0,3 m a 44,2 m do ninho (Tabela1).

**Figura 3.** – Comprimento total das trilhas químicas e físicas em função do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*. N = 662 trilhas químicas e 346 trilhas físicas. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%.

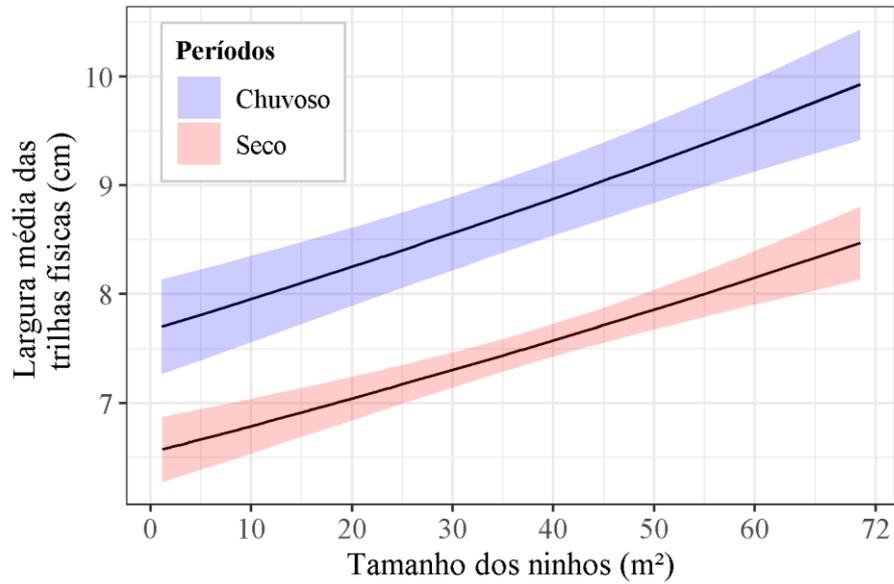


Fonte: Da autora (2021).

A largura média das trilhas físicas com atividade de forrageamento aumentou em relação ao tamanho dos formigueiros ( $\text{Chi} = 10,816$ ,  $p < 0,01$ ,  $\text{pseudo-R}^2 = 0,10$ ), e diferiu em relação aos períodos seco e chuvoso, sendo maior no período chuvoso ( $\text{Chi} = 13,253$ ,  $p < 0,001$ ) (Figura 4). As trilhas físicas utilizadas por *Atta sexdens* apresentaram entre 2,5 cm e 14,5 cm de largura (Tabela 1).

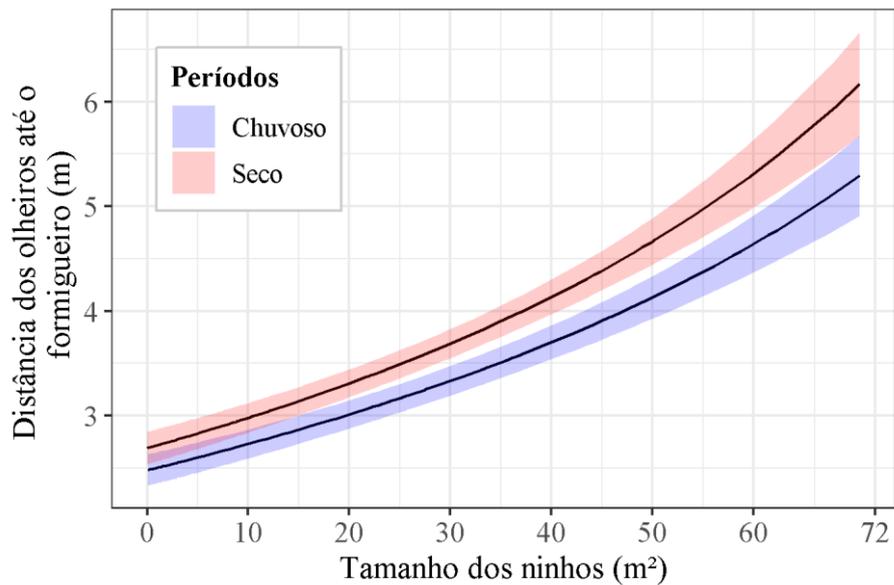
A distância dos olheiros de alimentação até o monte de terra solta dos ninhos aumentou com o tamanho dos formigueiros ( $X^2 = 56,656$ ,  $p < 0,001$ ), e diferiu em relação aos períodos seco e chuvoso, sendo maior no período seco ( $X^2 = 4,3675$ ,  $p < 0,05$ ) (Figura 5). Tais olheiros foram formados sobre o monte de terra solta ou até uma distância de 16,4 m dos ninhos (Tabela 1).

**Figura 4.** – Largura média das trilhas físicas em função do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*.  $N = 64$  no período chuvoso e 240 no período seco. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%.



Fonte: Da autora (2021).

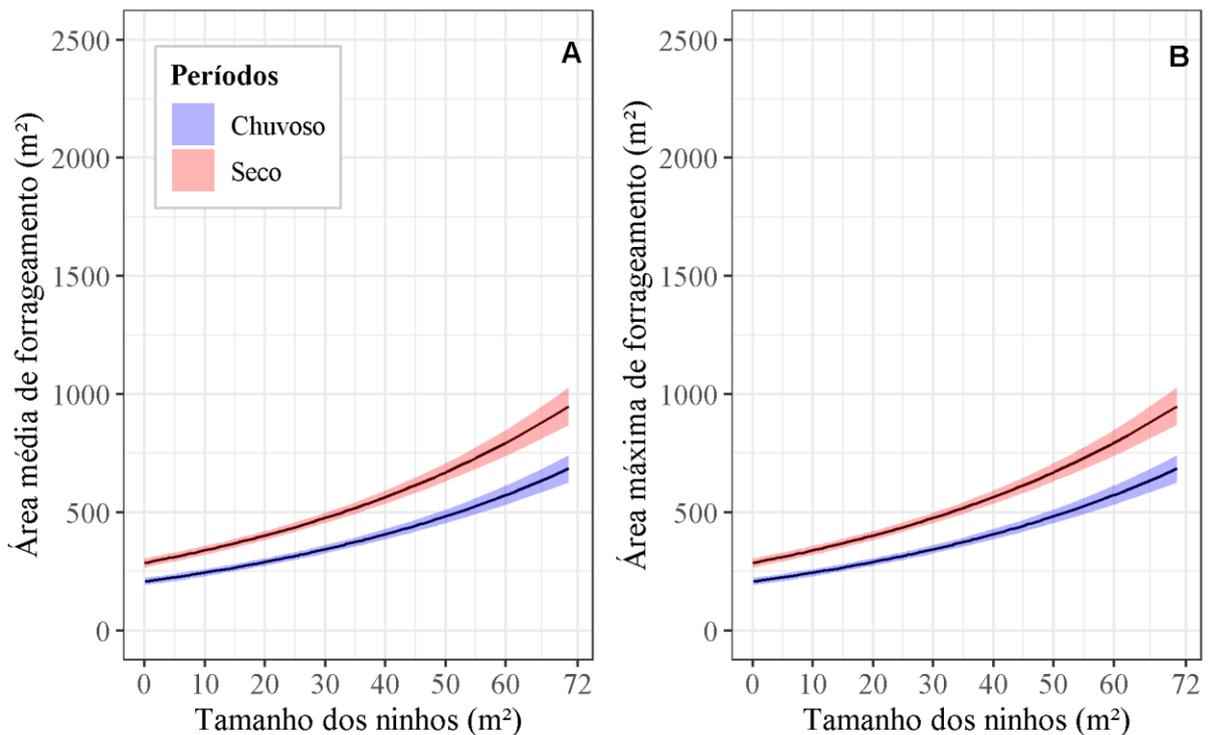
**Figura 5.** – Distância dos olheiros de alimentação até o monte de terra solta em função do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*.  $N = 220$  no período chuvoso e 458 no período seco. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%.



Fonte: Da autora (2021).

A área potencial de forrageamento média (Chi = 86,912,  $p < 0,001$ , pseudo- $R^2 = 0,11$ ) e máxima (Chi = 41,101,  $p < 0,001$ , pseudo- $R^2 = 0,16$ ) aumentaram com o tamanho dos formigueiros (Figura 6). Os ninhos apresentaram diferença na área de forrageamento em relação aos períodos seco e chuvoso, com maior área potencial de forrageamento média (Chi = 22,064,  $p < 0,001$ ) e máxima (Chi = 14,528,  $p < 0,001$ ) no período seco (Figura 6). Os formigueiros apresentaram uma capacidade de forragear numa área que variou de 18,6 m<sup>2</sup> a 1670 m<sup>2</sup>, dependendo do tamanho dos ninhos (Tabela 1).

**Figura 6.** – Área média (A) e máxima (B) de forrageamento, em função do tamanho dos ninhos de *Atta sexdens*, nos períodos seco e chuvoso.  $N = 364$  de área média e máxima no período chuvoso, 644 de área média e máxima no período seco. As zonas coloridas representam o intervalo de confiança a 95%.



Fonte: Da autora (2021).

## 7 DISCUSSÃO

As operárias de *Atta sexdens* utilizaram trilhas químicas e físicas em maior quantidade e extensão, trilhas físicas mais largas, olheiros mais distantes do monte de terra solta e exploraram maior área de forrageamento, conforme seus ninhos aumentaram de tamanho. Era esperado que colônias maiores utilizassem uma rede de trilhas mais ampla, já que a população destes ninhos é maior, logo, também é maior a necessidade por alimento para maximizar o cultivo do fungo (WIRTH *et al.*, 1997; HOWARD, 2001). O mesmo comportamento foi observado para a espécie *Atta bisphaerica* Forel, em que operárias de ninhos com maior área de terra solta, forragearam por trilhas mais extensas em relação aos ninhos menores (LOPES *et al.*, 2016). Lewis, Pollard e Dibley (1974) verificaram que forrageadoras de colônias menores da *Atta cephalotes* cortaram folhas a aproximadamente 20 m, enquanto que as de ninhos maiores percorreram até 250 m de trilha. Entretanto, Cherrett (1968) verificou que operárias desta mesma espécie utilizaram com mais frequência as trilhas entre 62 a 80 m, e houve uma redução gradativa no forrageamento em trilhas maiores.

Para potencializar a busca por recursos os formigueiros utilizam trilhas com dimensões que comportam um maior fluxo de formigas, como, por exemplo, trilhas físicas mais largas (FARJI-BRENER *et al.*, 2012). É importante ressaltar que, apesar das trilhas mais largas suportarem alta densidade de formigas, o ajuste da largura também deve ser em função da eficiência do forrageamento (BURD *et al.*, 2002; FARJI-BRENER *et al.*, 2012), que depende da troca de informações entre as forrageadoras (FARJI-BRENER *et al.*, 2010). Conforme Dussutour *et al.* (2007, 2009), a eficiência de forrageamento é maior em trilhas mais estreitas ou, quando mais largas, ocorra contatos diretos entre as forrageadoras que saem do ninho com as que estão retornando com carga. Por outro lado, em trilhas muito estreitas as colisões são mais frequentes, que reduzem a velocidade de locomoção e a taxa de retorno ao ninho com carga (FOURCASSIÉ; DUSSUTOUR; DENEUBOURG, 2010).

As formigas cortadeiras constroem trilhas físicas mais largas para evitar o efeito de borda (FARJI-BRENER *et al.*, 2012), dado que a vegetação e a serrapilheira são um obstáculo ao fluxo do forrageamento. Em trilhas mais largas as formigas podem se concentrar mais ao centro e evitar suas margens, que diminuem a velocidade de deslocamento (BRUCE; BURD, 2012). No entanto, Fourcassie; Dussutour; Deneubourg (2010) propõem que com o aumento da largura, haverá menos pontos de feromônio na superfície, o que levaria as formigas à desorientação. Neste caso, os encontros frontais diminuem e há redução na taxa de

fORAGEAMENTO, pois é durante estes contatos que as formigas trocam informações sobre a localização do recurso (BURD; ARANWELA, 2003).

As colônias maiores detêm mais força de trabalho para construir e manter trilhas com maiores dimensões e abrir olheiros mais distantes dos ninhos (LOPES *et al.*, 2016), logo, podem forragear em túneis subterrâneos por mais tempo. As galerias dos formigueiros têm uma arquitetura que permite a manutenção da temperatura e umidade em condição constante, por isso, quanto mais as formigas caminharem por estas estruturas, menor será o risco de desidratação do próprio corpo e dos fragmentos vegetais (MOSER, 1967). A *Atta sexdens* coloniza lugares sombreados, assim, apresenta menos resistência à baixa umidade e altas temperaturas do que outras espécies de áreas abertas, como a *Atta capiguara* (CALDATO *et al.*, 2016a) e a *Atta bisphaerica* (LOPES *et al.*, 2016). Quanto maior a distância dos olheiros em relação aos formigueiros, menor será a exposição das operárias a temperaturas nocivas, precipitação, predação e parasitismo, condições que afetam a eficiência do forrageamento (KOST *et al.*, 2005; TIZÓN; WULFF; PELÁEZ, 2014; FARJI-BRENER *et al.*, 2018).

As formigas dispõem de uma gama maior de espécies vegetais ao ampliar o território de forrageamento, de outro modo, quanto maior a distância percorrida, maior é o tempo de forrageamento e menor a frequência de retorno ao ninho com carga (LEWIS; POLLARD; DIBLEY, 1974). Neste sentido, Bruce e Burd (2012) sugeriram que deve haver um limite no comprimento das trilhas das formigas cortadeiras em função do tamanho dos ninhos, para que haja uma compensação na taxa de forrageamento. Forragear por um território mais extenso reflete em um maior gasto de energia, porém as formigas cortadeiras utilizam estratégias para reduzir esses esforços, como, por exemplo, quando se tornam mais seletivas na escolha e corte de plantas a medida que a distância até o ninho aumenta (HOWARD, 2001; OLSSON; BROWN; HELF, 2008). Em florestas tropicais, a *Atta cephalotes* explorou recursos mais atrativos mesmo que a maiores distâncias dos ninhos (ROCKWOOD; HUBBELL, 1987). A frequência de corte por *Atta laevigata* foi 2,5 vezes maior em espécies vegetais preferidas do que nas não preferidas no Cerrado, mesmo que mais distantes dos ninhos (Costa *et al.* 2019). Ainda que em ambientes homogêneos, como em eucaliptais, a seletividade pode justificar o forrageamento a maiores distâncias, uma vez que as formigas cortadeiras selecionam as plantas de acordo com suas características físico-químicas (MEYER; ROCES; WIRTH, 2006).

Os formigueiros maiores utilizaram mais trilhas físicas do que trilhas químicas e mais extensas em relação aos ninhos menores e a largura das trilhas físicas também aumentou em

relação ao tamanho dos ninhos. Forragear por trilhas físicas é vantajoso para as formigas cortadeiras, porque o deslocamento sobre superfícies limpas é mais rápido do que sobre a serrapilheira (CEVALLOS DUPUIS; HARRISON, 2017). Bouchebti *et al.* (2019) argumentam que com o aumento da velocidade nestas trilhas, menos operárias são recrutadas para o corte e transporte de uma mesma quantidade de alimento. Assim, o esforço de trabalho das demais formigas, pode ser direcionado para outras atividades, como a manutenção das trilhas. Além disso, menor será a exposição das forrageadoras à predação e condições climáticas desfavoráveis (KOST *et al.*, 2005; TIZÓN; WULFF; PELÁEZ, 2014). O sistema de trilhas físicas é uma forma de concentrar o forrageamento nas plantas de melhor qualidade nutricional para o cultivo do fungo, mas também permite que as operárias voltem a explorar uma mesma planta, após esta apresentar mudança na palatabilidade ao longo do ano (SAVERSCHEK; ROCES, 2011). A formação das trilhas físicas demanda um maior tempo e gasto de energia das formigas e este custo é menor para colônias maiores, que apresentam milhares de indivíduos envolvidos no processo de construção e manutenção destas trilhas (HOWARD, 2001; BOUCHEBTI *et al.*, 2019).

A eficiência de forrageamento é maior quando as formigas utilizam trilhas físicas, porque com o aumento da velocidade, menor é o tempo de ida até a fonte de alimento e de volta aos ninhos com carga (FARJI-BRENER *et al.*, 2012; BOUCHEBTI *et al.*, 2019). Sales *et al.* (2015) verificaram um aumento de 67,47% na entrega de alimento ao ninho quando operárias de *Atta sexdens* forrageavam por trilhas físicas. A velocidade individual das forrageadoras de *A. laevigata* quase que dobrou após a construção dessas trilhas (BOUCHEBTI *et al.*, 2019). Em contrapartida, o fluxo de operárias de *A. colombica* e de *A. cephalotes* foi menor em trilhas físicas mais extensas (BRUCE; BURD, 2012). Além disso, conforme observado durante as avaliações deste trabalho, formigueiros com área de terra solta menor que 1 m<sup>2</sup> não apresentam trilhas físicas em seus sistemas de forrageamento.

As trilhas físicas delimitam o território de forrageamento de forma química e espacial, e reduz os encontros entre formigas de colônias vizinhas que competem por recursos (FARJI BRENER; SIERRA, 1993; URBAS *et al.*, 2007). O uso de um maior número de trilhas físicas em relação às trilhas químicas, conforme os ninhos crescem em área de terra solta, pode ser em decorrência da competição intraespecífica e interespecífica, como forma de garantir várias fontes de alimento para o cultivo do fungo e evitar confrontos. As formigas cortadeiras do gênero *Atta* constroem trilhas físicas que permanecem no ambiente por meses ou até anos (HOWARD, 2001). Isto faz com que essas vias passem a fazer parte do sistema de

fORAGEAMENTO e sejam utilizadas por várias vezes, tanto pela maior concentração de feromônio nestas trilhas quanto pelas habilidades cognitivas das formigas, como a memória visual. (CZACZKES *et al.*, 2015).

As trilhas físicas utilizadas por vários dias apresentam maior concentração de feromônio e passam a ser uma referência local para as operárias (CZACZKES *et al.*, 2011). Entretanto, Fourcassie, Dussutour e Deneubourg (2010) ressaltam que trilhas maiores demandam maior reposição de feromônio, além de reduzir os encontros e, conseqüentemente, troca de informações entre as forrageadoras, impactando na eficiência do forrageamento. Em trilhas mais extensas as formigas são expostas por maior tempo a fatores abióticos, como temperaturas elevadas, condição que interfere na concentração de feromônio nas trilhas (LEWIS; POLLARD; DIBLEY, 1974; OUDENHOVE *et al.*, 2011).

O número das trilhas químicas e físicas, a distância dos olheiros de alimentação até o ninho e a área de forrageamento de *Atta sexdens* são maiores no período seco. As formigas utilizaram os olheiros mais distantes dos ninhos na época seca, dado que é mais seguro forragearem por túneis do que expostas a condições de baixa umidade e riscos de predação.

A estação seca corresponde ao período em que ninhos adultos se preparam para as revoadas de acasalamento que, nas regiões de estudo, coincidem com o início da estação chuvosa. Por isso, a maior atividade de forrageamento no outono que precede a época seca, condiz com a necessidade por mais alimento para maximizar o cultivo do fungo e garantir a nutrição das castas reprodutoras (COSTA *et al.*, 2019). Durante os meses secos do ano, a disponibilidade de plantas próximas aos ninhos diminui, com isto as formigas vão em busca de recursos mais distantes, diferente do período chuvoso, em que há o surgimento de plantas espontâneas ao redor dos ninhos (CALDATO *et al.*, 2016a). Nos meses secos as plantas enfrentam estresse hídrico e, conforme Ribeiro Neto *et al.* (2012), as formigas têm preferência por plantas sob esta condição, já que os tecidos vegetais apresentam propriedades nutricionais mais atrativas. Espécies sob estresse hídrico apresentam maior concentração de carboidratos e aminoácidos, como sacarose e prolina (MEYER; ROCES; WIRTH, 2006), estas substâncias são fonte de energia para as formigas que consomem a seiva no momento do corte e, também, são nutritivas para o fungo (MEYER; ROCES; WIRTH, 2006).

Na estação chuvosa as formigas cortadeiras diminuem as atividades externas aos ninhos, visto que a precipitação é um dos fatores climáticos que afeta o forrageamento destes insetos, reduzindo o tempo de busca por alimento (FARJI-BRENER *et al.*, 2018). As gotas de chuva impactam diretamente as formigas, fazendo com que desequilibrem e deixem cair os

fragmentos vegetais com mais frequência (FARJI-BRENER *et al.*, 2016). Ao prever o início das chuvas, as operárias aumentam a velocidade de forrageamento, passam a cortar e carregar fragmentos com carga acima da capacidade de transporte (FARJI-BRENER *et al.*, 2016, 2018), que ficam sujeitos a queda e isso reduz a eficiência do forrageamento.

No período chuvoso o solo apresenta baixa resistência à escavação e, por isso, as formigas investem na construção de túneis subterrâneos e trilhas de forrageamento (ROCES; PIELSTRÖM, 2014), que serão melhor aproveitados no período seco. Lopes *et al.* (2016) verificaram redução na atividade de forrageamento de *Atta bisphaerica* no período chuvoso, culminando em um intenso esforço de escavação e construção de trilhas, e aumento da atividade de forrageamento na estação seca. Resultado contrário foi obtido por Caldato *et al.* (2016b) com a *Atta capiguara*, forrageadora de gramíneas, que apresentou maior atividade de corte na estação chuvosa, época em que o crescimento destas plantas é maior.

As formigas utilizaram trilhas físicas mais largas no período chuvoso do que no período seco. A largura está associada à eficiência de forrageamento (DUSSUTOUR *et al.*, 2007). A maior entrega de alimento ao ninho depende, tanto da velocidade de deslocamento quanto da troca de informações entre as operárias, que orienta as formigas a localizarem o recurso com mais precisão (FARJI-BRENER *et al.*, 2010). Em trilhas mais largas e com baixo fluxo, o tráfego fica mais segregado, por isso, menor é a taxa de encontros e, por consequência, a troca de informações, que leva a uma baixa eficiência de forrageamento (SALES *et al.*, 2015).

No bioma Mata Atlântica, *A. sexdens* apresenta um padrão de forrageamento predominantemente noturno (ABREU, 2015), portanto, menor tempo disponível para as atividades de busca por alimento que, somada a maior precipitação no período chuvoso, diminuem o tempo de forrageamento (FARJI-BRENER *et al.*, 2018), fazendo com que as formigas necessitem aumentar a eficiência na busca por alimento, portanto, utilizando trilhas mais largas.

Durante o forrageamento por trilhas mais largas, as operárias que saem do ninho sem carga podem realizar manobras, sem reduzir a velocidade quando encontram as companheiras com carga (STRÖMBOM; DUSSUTOUR, 2018). Além disso, o crescimento da vegetação às margens das trilhas é maior durante os meses de alta umidade, atrapalhando o forrageamento, logo, este impacto é menor em trilhas mais largas (FARJI-BRENER *et al.*, 2012).

A área de forrageamento aumentou conforme os ninhos aumentaram de tamanho. Estudos apontam que a área de forrageamento varia em função da espécie, tamanho dos

ninhos, condições abióticas que diferem entre os habitats, e outros aspectos (MOSER, 1967; LEWIS; POLLARD; DIBLEY, 1974; FARJI-BRENER *et al.*, 2015). Ramos (2002) estimou uma área de forrageamento de 3746,86 m<sup>2</sup>, explorada por um ninho de *Atta sexdens* com 315,57 m<sup>2</sup> de terra solta. No presente trabalho, ninhos maiores que 70 m<sup>2</sup> alcançaram uma área de forrageamento maior que 2000 m<sup>2</sup> nos meses secos e mais de 1500 m<sup>2</sup> no período chuvoso do ano. A espécie *A. bisphaerica*, com ninhos entre 50 e 72 m<sup>2</sup>, utilizou um território de 1.346 m<sup>2</sup>, durante oito meses (LOPES *et al.*, 2016). Comparado ao gênero *Acromyrmex*, o território de forrageamento das formigas *Atta* é consideravelmente maior. Durante quatro meses, dois ninhos de *Acromyrmex laticeps nigrosetosus* Forel com 0,65 e 0,78 m<sup>2</sup>, exploram uma área de 9,24 m<sup>2</sup> (ARAÚJO *et al.*, 2002), a área explorada por ninhos de *Atta sexdens* menores que 1 m<sup>2</sup>, avaliados no presente trabalho, foi de 21,1 m<sup>2</sup> no período seco e 20,9 m<sup>2</sup> no chuvoso.

As condições climáticas como temperatura, umidade e precipitação, moldam o comportamento de forrageamento das formigas cortadeiras, tendo efeito direto no território explorado por esses insetos (FARJI-BRENER *et al.*, 2015, 2018). Conforme Farji-Brener *et al.* (2015), os impactos causados por esses fatores abióticos são mais expressivos em formigas que nidificam em áreas mais abertas, e menos prejudicial às espécies de florestas. Um estudo conduzido por estes autores mostrou que a *Atta cephalotes* e a *Atta colombica* flexibilizam o comportamento de forrageamento, apresentando diferenças na angulação das bifurcações de trilhas. Em áreas abertas as formigas construíram bifurcações com ângulos mais agudos (~ 43°), que encurtaram a distância de forrageamento, diferente do que foi observado para ninhos da floresta, com ângulos de aproximadamente 65°. No geral, a formação e utilização da rede de trilhas pelas formigas cortadeiras reflete uma compensação entre a redução da distância de forrageamento e os custos de manutenção do sistema de trilhas, sendo esse comportamento moldado por pressões abióticas que variam nos habitats em que se localizam os ninhos (FARJI-BRENER *et al.*, 2015).

Conhecer a área de forrageamento é extremamente importante para estimar o consumo potencial de folhas por essas formigas e seus danos em agrossistemas. Também se pode utilizar tal informação para aprimorar estratégias de controle destes insetos que são feitas, majoritariamente, pelo uso de iscas granuladas (ZANETTI *et al.*, 2014). Os resultados apontam que é possível que ocorra alta competição intraespecífica e interespecífica em áreas com ninhos maiores que 70 m<sup>2</sup> próximos entre si, uma vez que cada um pode forragear uma área de 2000 m<sup>2</sup>. A falha no controle destes insetos-praga pode estar relacionada com a

competição entre os ninhos pela isca aplicada, quando alguns ninhos poderiam forragear iscas destinadas a outras colônias, causando subdosagem e ineficiência (ZANETTI *et al.*, 2003).

De mão do conhecimento de que o território de forrageamento dos ninhos de *Atta sexdens* aumenta em função do tamanho dos seus ninhos e é maior no período seco do ano, é possível ajustar o manejo dessa espécie considerando também o comportamento de uso do sistema de trilhas, porque o carregamento de iscas formicidas tende a ser maior nesta época de alta atividade de forrageamento. Isto implica no uso mais consciente destes produtos, com menor desperdício e redução dos riscos de contaminação às espécies não-alvo e ao meio ambiente (ZANUNCIO *et al.*, 2016).

## 8 CONCLUSÃO

O número das trilhas químicas e físicas, bem como a distância dos olheiros de alimentação até o ninho e a área de forrageamento de *Atta sexdens* aumentam com o tamanho dos seus ninhos, no período seco e no chuvoso, sendo maiores no período seco.

O comprimento das trilhas químicas e físicas utilizadas durante o forrageamento por *A. sexdens*, aumenta com o tamanho dos seus ninhos. A distância percorrida pelas formigas, dos ninhos até a fonte de alimento, não difere entre os períodos seco e chuvoso.

A formiga cortadeira *A. sexdens* utiliza trilhas físicas mais largas à medida que seus ninhos aumentam de tamanho e a ocorrência dessas trilhas é maior no período chuvoso.

A formiga *A. sexdens* utiliza mais trilhas físicas do que trilhas químicas durante o forrageamento, tanto no período seco quanto no período chuvoso.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C. S. **FORAGEAMENTO DIÁRIO E SAZONAL DE *Atta sexdens* LINNAEUS, 1758 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM EUCALIPTAIS NOS BIOMAS BRASILEIROS**. 2015. Universidade Federal de Lavras, 2015.

ALMA, A. M.; FARJI-BRENER, A. G.; ELIZALDE, L. A Breath of Fresh Air in Foraging Theory: The Importance of Wind for Food Size Selection in a Central-Place Forager. **The American Naturalist**, v. 190, n. 3, p. 510–419, 2017. doi: 10.1086/692707.

ANDERSON, C.; MCSHEA, D. W. Intermediate-level parts in insect societies: Adaptive structures that ants build away from the nest. **Insectes Sociaux**, v. 48, n. 4, p. 291–301, 2001. doi: 10.1007/PL00001781.

ANGILLETTA, M. J.; WILSON, R. S.; NIEHAUS, A. C.; SEARS, M. W.; NAVAS, C. A.; RIBEIRO, P. L. Urban physiology: City ants possess high heat tolerance. **PLoS ONE**, v. 2, n. 2, p. e258, 2007. doi: 10.1371/journal.pone.0000258.

ARAÚJO, M. D. S.; DELLA LUCIA, T. M. C.; LIMA, C. A. A.; SOUZA, D. J. De; PETTERNELLI, E. F. Foraging activity of *Acromyrmex laticeps nigrosetosus* Forel (Hymenoptera, Formicidae) in *Eucalyptus* stands. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1321–1325, 2002. doi: 10.4025/actasciagron.v24i0.2370.

BAAREN, J. van; CANDOLIN, U. Plasticity in a changing world: behavioural responses to human perturbations. **Current Opinion in Insect Science**, v. 27, p. 21–25, 2018. doi: 10.1016/j.cois.2018.02.003.

BEHMER, S. T.; COX, E.; RAUBENHEIMER, D.; SIMPSON, S. J. Food distance and its effect on nutrient balancing in a mobile insect herbivore. **Animal Behaviour**, v. 66, n. 4, p. 665–675, 2003. doi: 10.1006/anbe.2003.2243.

BOLTON, B.; ALPERT, G.; WARD, P. S.; NASKRECKI, P. **Bolton's Catalogue of Ants of the World**. Cambridge: Harvard University Press, 2006.

BOUCHEBTI, S.; JOST, C.; CALDATO, N.; FORTI, L. C.; FOURCASSIÉ, V. Comparative study of resistance to heat in two species of leaf-cutting ants. **Insectes Sociaux**, v. 62, n. 1, p. 97–99, 2015. doi: 10.1007/s00040-014-0378-y.

BOUCHEBTI, S.; TRAVAGLINI, R. V.; FORTI, L. C.; FOURCASSIÉ, V. Dynamics of physical trail construction and of trail usage in the leaf-cutting ant *Atta laevigata*. **Ethology Ecology & Evolution**, v. 31, n. 2, p. 105–120, 2019. doi: 10.1080/03949370.2018.1503197.

BROOKS, M. E.; KRISTENSEN, K.; VAN BENTHEM, K. J.; MAGNUSSON, A.; BERG, C. W.; NIELSEN, A.; SKAUG, H. J.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B. M. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. **The R Journal**, v. 9, n. 2, p. 378–400, 2017. doi: 10.32614/rj-2017-066.

BRUCE, A. I.; BURD, M. Allometric scaling of foraging rate with trail dimensions in leaf-cutting ants. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1737, p. 2442–2447, 2012. doi: 10.1098/rspb.2011.2583.

BRUCE, A. I.; CZACZKES, T. J.; BURD, M. Tall trails: ants resolve an asymmetry of information and capacity in collective maintenance of infrastructure. **Animal Behaviour**, v. 127, p. 179–185, 2017. doi: 10.1016/j.anbehav.2017.03.018.

- BURD, M.; ARANWELA, N. Head-on encounter rates and walking speed of foragers in leaf-cutting ant traffic. **Insectes Sociaux**, v. 50, n. 1, p. 3–8, 2003. doi: 10.1007/s000400300001.
- BURD, M.; ARCHER, D.; ARANWELA, N.; STRADLING, D. J. Traffic dynamics of the leaf-cutting ant, *Atta cephalotes*. **The American Naturalist**, v. 159, n. 3, p. 283–293, 2002. doi: doi: 10.1086/338541.
- CALDATO, N. .; FORTI, L. C.; CAMARGO, R. S.; LOPES, J. . . S.; FOURCASSIÉ, V. Dynamics of the restoration of physical trails in the grass-cutting ant *Atta capiguara* (Hymenoptera, Formicidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 60, n. 1, p. 63–67, 2016a. doi: doi.org/10.1016/j.rbe.2015.10.001.
- CALDATO, N.; FORTI, L. C.; BOUCHEBTI, S.; LOPES, J. F. S.; FOURCASSIE, V. Foraging activity pattern and herbivory rates of the grass-cutting ant *Atta capiguara*. **Insectes Sociaux**, v. 63, p. 421–428, 2016b. doi: doi.org/10.1007/s00040-016-0479-x.
- CERDA, N. V.; TADEY, M.; FARJI-BRENER, A. G.; NAVARRO, M. C. Effects of leaf-cutting ant refuse on native plant performance under two levels of grazing intensity in the Monte Desert of Argentina. **Applied Vegetation Science**, v. 15, n. 4, p. 479–487, 2012. doi: 10.1111/j.1654-109X.2012.01188.x.
- CEVALLOS DUPUIS, E.; HARRISON, J. F. Trunk trail maintenance in leafcutter ants: caste involvement and effects of obstacle type and size on path clearing in *Atta cephalotes*. **Insectes Sociaux**, v. 64, n. 2, p. 189–196, 2017. doi: 10.1007/s00040-016-0530-y.
- CHERRETT, J. M. The Foraging Behaviour of *Atta cephalotes* L. (Hymenoptera, Formicidae). **Journal of Animal Ecology**, v. 37, n. 2, p. 387–403, 1968.
- COCHET, R. B.; LEÓN, Á. O.; ORTIZ-REYES, A. Patrones comportamentales de fóridos (Diptera : Phoridae) parasitoides de *Atta colombica* (Hymenoptera : Formicidae). **Revista de Biología Tropical**, v. 65, n. 2, p. 461–473, 2017. doi: doi.org/10.15517/rbt.v65i2.24746.
- CORRÊA, M. M.; SILVA, P. S. D.; WIRTH, R.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. Foraging activity of leaf-cutting ants changes light availability and plant assemblage in Atlantic forest. **Ecological Entomology**, v. 41, n. 4, p. 442–450, 2016. doi: 10.1111/een.12312.
- COSTA, A. N.; BRUNA, E. M.; VASCONCELOS, H. L. Do an ecosystem engineer and environmental gradient act independently or in concert to shape juvenile plant communities? Tests with the leaf-cutter ant *Atta laevigata* in a Neotropical savanna. **PeerJ**, v. 6, p. e5612, 2018. doi: 10.7717/peerj.5612.
- COSTA, A. N.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M. Biotic drivers of seedling establishment in Neotropical savannas: selective granivory and seedling herbivory by leaf-cutter ants as an ecological filter. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 1, p. 132–141, 2017. doi: 10.1111/1365-2745.12656.
- COSTA, A. N.; VASCONCELOS, H. L.; VIEIRA-NETO, E. H. .; BRUNA, E. M. Adaptive foraging of leaf-cutter ants to spatiotemporal changes in resource availability in Neotropical savannas. **Ecological Entomology**, v. 44, n. 2, p. 227–238, 2019. doi: 10.1111/een.12697.
- COSTA, A. N.; VASCONCELOS, H. L.; VIEIRA-NETO, E. H. M.; BRUNA, E. M. Do herbivores exert top-down effects in Neotropical savannas? Estimates of biomass consumption by leaf-cutter ants. **Journal of Vegetation Science**, v. 19, n. 6, p. 849–854, 2008. doi: 10.3170/2008-8-18461.

- COSTA, A. N.; VIEIRA-NETO, E. H. M. Species turnover regulates leaf-cutter ant densities in environmental gradients across the Brazilian Cerrado. **Journal of Applied Entomology**, v. 140, n. 6, p. 474–478, 2016. doi: 10.1111/jen.12277.
- CURRIE, C. R. A community of ants, fungi, and bacteria: A multilateral approach to studying symbiosis. **Annual Review of Microbiology**, v. 55, p. 357–380, 2001. doi: 10.1146/annurev.micro.55.1.357.
- CZACZKES, T. J.; CZACZKES, B.; IGLHAUT, C.; HEINZE, J. Composite collective decision-making. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1809, p. 20142723, 2015. doi: 10.1098/rspb.2014.2723.
- CZACZKES, T. J.; GRÜTER, C.; JONES, S. M.; RATNIEKS, F. L. W. Synergy between social and private information increases foraging efficiency in ants. **Biology Letters**, v. 7, n. 4, p. 521–524, 2011. doi: 10.1098/rsbl.2011.0067.
- DELABIE, J. H. C.; ALVES, H. S. R.; REUSS-STRENZEL, G. M.; DO CARMO, A. F. R.; DO NASCIMENTO, I. C. Distribuição das formigas-cortadeiras *Acromyrmex* e *Atta* no Novo Mundo. In: **Formigas-Cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. p. 421. 2011.
- DELLA LUCIA, T. M. C.; GANDRA, L.; GUEDES, R. N. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. **Pest Management Science**, v. 70, n. 1, p. 14–23, 2014. doi: 10.1002/ps.3660.
- DIAMOND, S. E. Evolutionary potential of upper thermal tolerance: biogeographic patterns and expectations under climate change. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1389, n. 1, p. 5–19, 2017. doi: 10.1111/nyas.13223.
- DUSSUTOUR, A.; BESHES, S.; DENEUBOURG, J.; FOURCASSIÉ, V. Crowding increases foraging efficiency in the leaf-cutting ant *Atta colombica*. **Insectes Sociaux**, v. 54, n. 2, p. 158–165, 2007. doi: 10.1007/s00040-007-0926-9.
- DUSSUTOUR, A.; BESHES, S.; DENEUBOURG, J. L.; FOURCASSIE, V. Priority rules govern the organization of traffic on foraging trails under crowding conditions in the leaf-cutting ant *Atta colombica*. **Journal of Experimental Biology**, v. 212, n. 4, p. 499–505, 2009. doi: 10.1242/jeb.022988.
- FARJI-BRENER, A. G.; AMADOR-VARGAS, S.; CHINCHILLA, F.; ESCOBAR, S.; CABRERA, S.; HERRERA, M. I.; SANDOVAL, C. Information transfer in head-on encounters between leaf-cutting ant workers: food, trail condition or orientation cues? **Animal Behaviour**, v. 79, n. 2, p. 343–349, 2010. doi: 10.1016/j.anbehav.2009.11.009.
- FARJI-BRENER, A. G.; BARRANTES, G.; LAVERDE, O.; FIERRO-CALDERÓN, K.; BASCOPE, F.; LOPEZ, A. Fallen Branches as Part of Leaf-Cutting Ant Trails: Their Role in Resource Discovery and Leaf Transport Rates in *Atta cephalotes*. **Biotropica**, v. 39, n. 2, p. 211–215, 2007. doi: 10.1111/j.1744-7429.2006.00256.x.
- FARJI-BRENER, A. G.; CHINCHILLA, F.; UMAÑA, M. N.; OCASIO-TORRES, M. E.; CHAUTA-MELLIZO, A.; ACOSTA-ROJAS, D.; MARINARO, S.; CURTH, M. T.; AMADOR-VARGAS, S. Branching angles reflect a trade-off between reducing trail maintenance costs or travel distances in leaf-cutting ants. **Ecology**, v. 96, n. 2, p. 510–517, 2015. doi: doi.org/10.1890/14-0220.1.

FARJI-BRENER, A. G.; DALTON, M. C.; BALZA, U.; COURTIS, A.; LEMUS-DOMÍNGUEZ, I.; FERNÁNDEZ-HILARIO, R.; CÁCERES-LEVI, D. Working in the rain? Why leaf-cutting ants stop foraging when it's raining. **Insectes Sociaux**, v. 65, n. 2, p. 233–239, 2018. doi: 10.1007/s00040-018-0605-z.

FARJI-BRENER, A. G.; ELIZALDE, L.; FERNÁNDEZ-MARÍN, H.; AMADOR-VARGAS, S. Social life and sanitary risks: Evolutionary and current ecological conditions determine waste management in leaf-cutting ants. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1831, p. 20160625, 2016. doi: 10.1098/rspb.2016.0625.

FARJI-BRENER, A. G.; GHERMANDI, L. Seedling recruitment in a semi-arid Patagonian steppe: Facilitative effects of refuse dumps of leaf-cutting ants. **Journal of Vegetation Science**, v. 15, n. 6, p. 823–830, 2004. doi: 10.1111/j.1654-1103.2004.tb02325.x.

FARJI-BRENER, A. G.; GHERMANDI, L. Leaf-cutting ant nests near roads increase fitness of exotic plant species in natural protected areas. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 275, n. 1641, p. 1431–1440, 2008. doi: 10.1098/rspb.2008.0154.

FARJI-BRENER, A. G.; ILLES, A. E. Do leaf-cutting ant nests make “bottom-up” gaps in neotropical rain forests?: A critical review of the evidence. **Ecology Letters**, v. 3, n. 3, p. 219–227, 2000. doi: 10.1046/j.1461-0248.2000.00134.x.

FARJI-BRENER, A. G.; LESCANO, N.; GHERMANDI, L. Ecological engineering by a native leaf-cutting ant increases the performance of exotic plant species. **Oecologia**, v. 163, n. 1, p. 163–169, 2010. doi: 10.1007/s00442-010-1589-1.

FARJI-BRENER, A. G.; MORUETA-HOLME, N.; CHINCHILLA, F.; WILLINK, B.; OCAMPO-PENUELA, N.; BRUNER, G. Leaf-cutting ants as road engineers: the width of trails at branching points in *Atta cephalotes*. **Insectes Sociaux**, v. 59, n. 3, p. 1–6, 2012. doi: 10.1007/s00040-012-0231-0.

FARJI-BRENER, A. G.; SILVA, J. F. Leaf-cutter ants' (*Atta laevigata*) aid to the establishment success of *Tapirira velutinifolia* (Anacardiaceae) seedlings in a parkland savanna. **Journal of Tropical Ecology**, v. 12, n. 1, p. 163–168, 1996.

FARJI-BRENER, A. G.; WERENKRAUT, V. A meta-analysis of leaf-cutting ant nest effects on soil fertility and plant performance. **Ecological Entomology**, v. 40, n. 2, p. 150–158, 2014. doi: 10.1111/een.12169.

FARJI BRENER, A.; SIERRA, C. Distribution of attacked plots along trails in leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae): consequences in territorial strategies. **Revista de biología tropical**, v. 41, n. 3, p. 891–896, 1993. doi: 10.15517/rbt.v41i3.

FERNANDEZ-BOU, A. S.; DIERICK, D.; SWANSON, A. C.; ALLEN, M. F.; ALVARADO, A. G. F.; ARTAVIA-LEÓN, A.; CARRASQUILLO-QUINTANA, O.; LACHMAN, D. A.; OBERBAUER, S.; PINTO-TOMÁS, A. A.; RODRÍGUEZ-REYES, Y.; RUNDEL, P.; SCHWENDENMANN, L.; ZELIKOVA, T. J.; HARMON, T. C. The Role of the Ecosystem Engineer, the Leaf-Cutter Ant *Atta cephalotes*, on Soil CO<sub>2</sub> Dynamics in a Wet Tropical Rainforest. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 124, n. 2, p. 260–273, 2019. doi: 10.1029/2018JG004723.

FORTI, L. C.; MOREIRA, A. A.; ANDRADE, A. P. P.; CASTELLANI, M. A.; CALDATO, N. Nidificação e arquitetura de ninhos de formigas-cortadeiras. In: **Formigas-Cortadeiras:**

da bioecologia ao manejo. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. p. 421.

FORTI, L. C.; RANDO, J. S.; MOREIRA, A. A.; CASTELLANI, M. A.; LEITE, S. A.; SOUZA, K. K. A.; CALDATO, N. . Occurrence of Leaf-Cutting and Grass-Cutting Ants of the Genus *Atta* (Hymenoptera: Formicidae) in Geographic Regions of Brazil. **Sociobiology**, v. 67, n. 4, p. 514–525, 2020. doi: 10.13102/sociobiology.v67i4.5741.

FOURCASSIÉ, V.; DUSSUTOUR, A.; DENEUBOURG, J. Ant traffic rules. p. 2357–2363, 2010. doi: 10.1242/jeb.031237.

FOURCASSIE, V.; DUSSUTOUR, A.; DENEUBOURG, J. L. Ant traffic rules. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 14, p. 2357–2363, 2010. doi: 10.1242/jeb.031237.

FOWLER, H. G.; ROBINSON, S. W. Foraging by *Atta sexdens* (Formicidae: Attini): seasonal patterns, caste and efficiency. **Ecological Entomology**, v. 4, p. 239–247, 1979.

FOWLER, H. G.; SCHLINDWEIN, M. N.; SCHLITTLER, F. M.; FORTI, L. C. A simple method for determining location of foraging ant nests using leaf cutting ants as a model. **Journal of Applied Entomology**, v. 116, n. 1–5, p. 420–422, 1993. doi: doi.org/10.1111/j.1439-0418.1993.tb01216.x.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An R Companion to Applied Regression**. 3ed. ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2019.

GARCIA-ROBLEDO, C.; CHUQUILLANQUI, H.; KUPREWICZ, E. K.; ESCOBAR-SARRIA, F. Lower thermal tolerance in nocturnal than in diurnal ants: a challenge for nocturnal ectotherms facing global warming. **Ecological Entomology**, v. 43, n. 2, p. 162–167, 2018. doi: 10.1111/een.12481.

GERBIER, G.; GARNIER, S.; RIEU, C.; THERAULAZ, G.; FOURCASSIÉ, V. Are ants sensitive to the geometry of tunnel bifurcation? **Animal Cognition**, v. 11, n. 4, p. 637–642, 2008. doi: 10.1007/s10071-008-0153-4.

GIESEL, A.; BOFF, M. I. C.; GONÇALVES, P. A. S.; BOFF, P. ACTIVITY OF LEAF-CUTTING ANT *Atta sexdens piriventris* SUBMITTED TO HIGH DILUTION HOMEOPATHIC PREPARATIONS. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 16, n. 1, p. 25–33, 2013.

GRANDEZA, L. A. O.; MORAES, J. C.; ZANETTI, R. Estimativa do crescimento externo de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* Forel e *Atta laevigata* (F. Smith) (Hymenoptera: Formicidae) em áreas de reflorestamento com eucalipto. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 1, p. 59–64, 1999. doi: 10.1590/s0301-80591999000100006.

HASTENREITER, I. N.; LOPES, J. F. S.; CAMARGO, R. da S.; FORTI, L. C. Avoiding traffic jams: hitchhiking behavior as a strategy to reduce ant workers' traffic on the foraging trail. **Behavioural Processes**, v. 157, p. 54–58, 2018. doi: 10.1016/j.beproc.2018.08.015.

HÖLLDOBLER, B. The chemistry of social regulation: Multicomponent signals in ant societies. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 92, n. 1, p. 19–22, 1995. doi: 10.1073/pnas.92.1.19.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies**. 1. ed. New York: W. W. Norton & Company, 2008.

- HOWARD, J. J. Costs of trail construction and maintenance in the leaf-cutting ant *Atta colombica*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 49, n. 5, p. 348–356, 2001. doi: 10.1007/s002650000314.
- KHADEMPOUR, L.; BURNUM-JOHNSON, K. E.; BAKER, E. S.; NICORA, C. D.; WEBB-ROBERTSON, B.-J. M.; WHITE III, R. A.; MONROE, M. E.; HUANG, E. L.; SMITH, R. D.; CURRIE, C. R. The fungal cultivar of leaf-cutter ants produces specific enzymes in response to different plant substrates. **Molecular ecology**, v. 25, n. 22, p. 5795–5805, 2016. doi: 10.1111/mec.13872.
- KOST, C.; DE OLIVEIRA, E. G.; KNOCH, T. A.; WIRTH, R. Spatio-temporal permanence and plasticity of foraging trails in young and mature leaf-cutting ant colonies (*Atta* spp.). **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, n. 6, p. 677–688, 2005. doi: 10.1017/s0266467405002592.
- LEAL, I. R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. The multiple impacts of leaf-cutting ants and their novel ecological role in human-modified neotropical forests. **Biotropica**, v. 46, n. 5, p. 516–528, 2014. doi: 10.1111/btp.12126.
- LEWIN, G. R.; JOHNSON, A. L.; MOREIRA SOTO, R. D.; PERRY, K.; BOOK, A. J.; HORN, H. A.; PINTO-TOMÁS, A. A.; CURRIE, C. R. Cellulose-enriched microbial communities from leaf-cutter ant (*Atta colombica*) refuse dumps vary in taxonomic composition and degradation ability. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–22, 2016. doi: 10.1371/journal.pone.0151840.
- LEWIS, T.; POLLARD, G. V.; DIBLEY, G. C. Rhythmic Foraging in the Leaf-Cutting Ant *Atta cephalotes* (L.) (Formicidae: Attini). **Journal of Animal Ecology**, v. 43, n. 1, p. 129–141, 1974.
- LOPES, J. F. S.; BRUGGER, M. S.; MENEZES, R. B.; CAMARGO, R. S. Spatio-Temporal Dynamics of Foraging Networks in the Grass-Cutting Ant *Atta bisphaerica* Forel, 1908 (Formicidae, Attini). **PLoS ONE**, v. 11, n. 1, p. e0146613, 2016. doi: doi.org/10.1371/journal.pone.0146613.
- MATRANGOLO, C. A. R.; CASTRO, R. V. O.; LUCIA, T. M. C. Della; LUCIA, R. M. Della; MENDES, A. F. N.; COSTA, J. M. F. N.; LEITE, H. G. Crescimento de eucalipto sob efeito de desfolhamento artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 952–957, 2010. doi: 10.1590/S0100-204X2010000900003.
- MEYER, S. T.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; WIRTH, R. Performance and fate of tree seedlings on and around nests of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes*: Ecological filters in a fragmented forest. **Austral Ecology**, v. 36, n. 7, p. 779–790, 2011. doi: 10.1111/j.1442-9993.2010.02217.x.
- MEYER, S. T.; ROCES, F.; WIRTH, R. Selecting the drought stressed: Effects of plant stress on intraspecific and within-plant herbivory patterns of the leaf-cutting ant *Atta colombica*. **Functional Ecology**, v. 20, n. 6, p. 973–981, 2006. doi: 10.1111/j.1365-2435.2006.01178.x.
- MONTOYA-LERMA, J.; GIRALDO-ECHEVERRI, C.; ARMBRECHT, I.; FARJIBRENER, A. G.; CALLE, Z. Leaf-cutting ants revisited: Towards rational management and control. **International Journal of Pest Management**, v. 58, n. 3, p. 225–247, 2012. doi: 10.1080/09670874.2012.663946.

MOSER, J. C. Trails of the leafcutters. **The Journal Of The American Museum Of Natural History**, v. 76, n. 1, p. 33–37, 1967.

MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. C.; DAVIDSON, E. A. INFLUENCE OF LEAF-CUTTING ANT NESTS ON SECONDARY FOREST GROWTH AND SOIL PROPERTIES IN AMAZONIA. **Ecology**, v. 84, n. 5, p. 1265–1276, 2003. doi: doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[1265:IOLANO]2.0.CO;2.

MUNIQUE, L. B.; CALIXTO, E. S. Spatial and Temporal Variation of Plant Fragment Removal by Two Species of *Atta* Leaf-Cutting Ants. **Journal of Insect Behavior**, v. 31, n. 3, p. 255–263, 2018. doi: 10.1007/s10905-018-9673-1.

OLIVEIRA, M. A.; DELLA LUCIA, T. M. C.; DELLA LUCIA, R. M.; ANJOS, N.; ARAUJO, M. S.; LEITE, B. S. The Simulated Effect of Defoliation in the Growth of the *Eucalyptus grandis*. **Chemical Engineering Transactions**, v. 39, p. 1543–1548, 2014. doi: 10.3303/CET1439258.

OLSSON, O.; BROWN, J. S.; HELF, K. L. A guide to central place effects in foraging. **Theoretical Population Biology**, v. 74, n. 1, p. 22–33, 2008. doi: 10.1016/j.tpb.2008.04.005.

**R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.** Vienna, Austria, 2021.

RAMOS, V. M. **Determinação do território de forrageamento e avaliação do uso de micro porta-isca para as saúvas *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 e *Atta laevigata* Fr. Smith, 1858 (Hymenoptera, Formicidae).** UNESP, 2002.

RANDO, J. S. S.; FORTI, L. C. Ocorrência de formigas, *Acromyrmex* Mayr, 1865, em alguns municípios do Brasil. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 27, n. 2, p. 129–133, 2005. doi: DOI: 10.4025/actascibiolsci.v27i2.1322.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, n. 11, p. 206–226, 2015.

RIBEIRO, M. M. R.; MARINHO, C. G. S. Seleção e Forrageamento em Formigas-Cortadeiras. In: **Formigas-Cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, p. 421. 2011.

RIBEIRO NETO, J. D.; PINHO, B. X.; MEYER, S. T.; WIRTH, R.; LEAL, I. R. Drought stress drives intraspecific choice of food plants by *Atta* leaf-cutting ants. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 14, n. 2, p. 209–215, 2012. doi: 10.1111/j.1570-7458.2012.01283.x.

RIGBY, R. A.; STASINOPOULOS, D. M. Generalized additive models for location, scale and shape. **Applied Statistics**, v. 54, n. 3, p. 507–554, 2005. doi: doi.org/10.1111/j.1467-9876.2005.00510.x.

ROCES, F.; PIELSTRÖM, S. Soil Moisture and Excavation Behaviour in the Chaco Leaf-Cutting Ant (*Atta vollenweideri*): Digging Performance and Prevention of Water Inflow into the Nest. **PLoS ONE**, v. 9, p. e95658, 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0095658.

ROCKWOOD, L. L.; HUBBELL, S. P. Host-Plant Selection, Diet Diversity, and Optimal Foraging in a Tropical Leafcutting Ant. **Oecologia**, v. 74, p. 55–61, 1987.

- RÖMER, D.; HALBOTH, F.; BOLLAZZI, M.; ROCES, F. Underground nest building: the effect of CO<sup>2</sup> on digging rates, soil transport and choice of a digging site in leaf-cutting ants. **Insectes Sociaux**, v. 65, n. 2, p. 305–313, 2018. doi: 10.1007/s00040-018-0615-x.
- SALES, T. A.; HASTENREITER, I. N.; ALMEIDA, N. G.; LOPES, J. F. S. Fast food delivery: Is there a way for foraging success in leaf-cutting ants? **Sociobiology**, v. 62, n. 4, p. 513–518, 2015. doi: 10.13102/sociobiology.v62i4.807.
- SAVERSCHEK, N.; ROCES, F. Foraging leafcutter ants: Olfactory memory underlies delayed avoidance of plants unsuitable for the symbiotic fungus. **Animal Behaviour**, v. 82, n. 3, p. 453–458, 2011. doi: 10.1016/j.anbehav.2011.05.015.
- SCHLINDWEIN, M. N. Dinâmica do Ataque de *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 sobre a Vegetação: Uso de Manipulação de Recursos e Armadilha de Solo para se Estimar o Comportamento de Forrageamento. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 8, n. 2, p. 153–166, 2004. doi: doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2004.v8i2.315.
- SCHULTZ, T. R.; BRADY, S. G. Major evolutionary transitions in ant agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 14, p. 5435–5440, 2008. doi: 10.1073/pnas.0711024105.
- SILVA, A.; BACCI, M.; GOMES DE SIQUEIRA, C.; CORREA BUENO, O.; PAGNOCCA, F. C.; APARECIDA HEBLING, M. J. Survival of *Atta sexdens* workers on different food sources. **Journal of Insect Physiology**, v. 49, n. 4, p. 307–313, 2003. doi: 10.1016/S0022-1910(03)00004-0.
- SILVA, L. C.; CAMARGO, R. S.; FORTI, L. C.; MATOS, C. A. O.; TRAVAGLINI, R. V. Do *Atta sexdens rubropilosa* workers prepare leaves and bait pellets in similar ways to their symbiotic fungus? **Sociobiology**, v. 62, n. 4, p. 484–493, 2015. doi: 10.13102/sociobiology.v62i4.772.
- SILVA, M. R.; CASTELLANI, M. A.; MOREIRA, A. A.; D’ESQUIVEL, M.; FORTI, L. C.; LACAU, S. Spatial Distribution and Architecture of *Acromyrmex landolti* Forel (Hymenoptera, Formicidae) Nests in Pastures of Southwestern Bahia, Brazil. **Sociobiology**, v. 60, n. 1, p. 20–29, 2013. doi: 10.13102/sociobiology.v60i1.20-29.
- SILVA, P. D.; LEAL, I. R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Harvesting of *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. seeds (Burseraceae) by the leaf-cutting ant *Atta sexdens* L. promotes seed aggregation and seedling mortality. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 553–560, 2007. doi: 10.1590/S0100-84042007000300019.
- SIQUEIRA, F. F. S.; RIBEIRO-NETO, J. D.; TABARELLI, M.; ANDERSEN, A. N.; WIRTH, R.; LEAL, I. R. Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 33, n. 5, p. 337–344, 2017. doi: 10.1017/s0266467417000311.
- SOARES, L. K. D. **Manejo da copa diminui o fator de afilamento do fuste e altera fisiologia foliar de *Eucalyptus urophylla***. 2017. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2017.
- SOUSA-SOUTO, L.; GUERRA, M. B. B.; SCHOEREDER, J. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DA SILVA, W. L. DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CONVERSÃO EM COLÔNIAS DE *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) E SUA RELAÇÃO COM A

QUALIDADE DO MATERIAL VEGETAL CORTADO. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 163–166, 2007. doi: 10.1590/S0100-67622007000100018.

SOUSA-SOUTO, L.; SCHOEREDER, J. H.; LIMA, E. R. Why do leaf-cutting ants (Hymenoptera : Formicidae) change their foraging pattern? **Sociobiology**, v. 52, n. 3, p. 645–654, 2008.

SOUZA, A.; ZANETTI, R.; CALEGARIO, N. Nível de dano econômico para formigas-cortadeiras em função do índice de produtividade florestal de eucaliptais em uma região de Mata Atlântica. **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 4, p. 483–488, 2011.

STERNBERG, L. D. S. L.; PINZON, M. C.; MOREIRA, M. Z.; MOUTINHO, P.; ROJAS, E. I.; HERRE, E. A. Plants use macronutrients accumulated in leaf-cutting ant nests. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1608, p. 315–321, 2007. doi: 10.1098/rspb.2006.3746.

STRÖMBOM, D.; DUSSUTOUR, A. Self-organized traffic via priority rules in leaf-cutting ants. **PLoS Computational Biology**, v. 14, n. 10, p. e1006523, 2018. doi: 10.1371/journal.pcbi.1006523.

SUJIMOTO, F. R.; COSTA, C. M.; ZITELLI, C. H. L.; BENTO, J. M. S. Foraging activity of leaf-cutter ants is affected by barometric pressure. **Ethology**, v. 126, n. 3, p. 290–296, 2020. doi: 10.1111/eth.12967.

SWANSON, A. C.; SCHWENDENMANN, L.; ALLEN, M. F.; ARONSON, E. L.; ARTAVIA-LEÓN, A.; DIERICK, D.; FERNANDEZ-BOU, A. S.; HARMON, T. C.; MURILLO-CRUZ, C.; OBERBAUER, S. F.; PINTO-TOMÁS, A. A.; RUNDEL, P. W.; ZELIKOVA, T. J. Welcome to the *Atta* world: A framework for understanding the effects of leaf-cutter ants on ecosystem functions. **Functional Ecology**, v. 33, n. 8, p. 1386–1399, 2019. doi: 10.1111/1365-2435.13319.

TIZÓN, R.; WULFF, J. P.; PELÁEZ, D. V. The effect of increase in the temperature on the foraging of *Acromyrmex lobicornis* (Hymenoptera: Formicidae). **Zoological Studies**, v. 53, n. 1, p. 1–13, 2014. doi: 10.1186/s40555-014-0040-4.

TOUCHTENHAGEN, G. S.; SANTOS, L. A.; DE SOUZA, P. P. **Relatório Meteorológico do Período Chuvoso 2019-2020. Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)**, Belo Horizonte, MG, 2020.

URBAS, P.; ARAUJO JR., M. V.; LEAL, I. R.; WIRTH, R. Cutting More from Cut Forests: Edge Effects on Foraging and Herbivory of Leaf-Cutting Ants in Brazil. **Biotropica**, v. 39, n. 4, p. 489–495, 2007. doi: 10.1111/j.1744-7429.2007.00285.x.

VAN OUDENHOVE, L.; BILLOIR, E.; BOULAY, R.; BERNSTEIN, C.; CERDÁ, X. Temperature limits trail following behaviour through pheromone decay in ants. **Naturwissenschaften**, v. 98, n. 12, p. 1009–1017, 2011. doi: 10.1007/s00114-011-0852-6.

VILLANUEVA, R. A. M.; CHEN, Z. J. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis (2nd ed.). **Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives**, v. 17, n. 3, p. 160–167, 2019. doi: 10.1080/15366367.2019.1565254.

WIRTH, R.; BEYSCHLAG, W.; RYELT, R. J.; HOLLOBLER, B. Annual Foraging of the Leaf-Cutting Ant *Atta colombica* in a Semideciduous Rain Forest in Panama. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 5, p. 741–757, 1997.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; SANTOS, J. C.; DA SILVA, W. L. P.; RIBEIRO, G. T.; LEMES, P. G. An Overview of Integrated Management of Leaf-Cutting Ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian Forest Plantations. **Forests**, v. 5, n. 3, p. 439–454, 2014. doi: 10.3390/f5030439.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; VILELA, E. F.; LEITE, H. G.; JAFFÉ, K.; OLIVEIRA, A. C. Level of economic damage for leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* plantations in Brazil. **Sociobiology**, v. 42, n. 2, p. 433–442, 2003.

ZANUNCIO, J. C.; LEMES, P. G.; ANTUNES, L.; MENDES, J. E. P.; TANGANELLI, K. M.; SALVADOR, J. F.; SERRÃO, J. E. The impact of the Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy on the management of leaf-cutting ants and termites in certified forests in Brazil. **Annals of Forest Science**, v. 73, n. 2, p. 205–214, 2016. doi: 10.1007/s13595-016-0548-3.