
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Andrei Lopes Ferreira

**Influência da ablação de antenas na escavação
de túneis por operários do cupim de montículo
Cornitermes cumulans (Isoptera, Termitidae,
Syntermitinae)**

ANDREI LOPES FERREIRA

**INFLUÊNCIA DA ABLAÇÃO DE ANTENAS NA ESCAVAÇÃO DE
TÚNEIS POR OPERÁRIOS DO CUPIM DE MONTÍCULO
CORNITERMES CUMULANS (ISOPTERA, TERMITIDAE,
SYNTERMITINAE)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção do grau de Bacharel e
Licenciatura em Ciências Biológicas

Orientador: Profa. Dra. Ana Maria Costa Leonardo

Coorientador: Me. Iago Bueno da Silva

Rio Claro - SP
2023

F383i Ferreira, Andrei Lopes

Influência da ablação de antenas na escavação de túneis por operários do cupim de montículo *Cornitermes cumulans* (Isoptera, Termitidae, Syntermitinae) / Andrei Lopes Ferreira. -- Rio Claro, 2023

30 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientadora: Ana Maria Costa Leonardo

Coorientador: Iago Bueno da Silva

1. Sensilas. 2. Tunelamento. 3. Térmita. 4. Comunicação Química. I. Título.

ANDREI LOPES FERREIRA

**INFLUÊNCIA DA ABLAÇÃO DE ANTENAS NA ESCAVAÇÃO DE
TÚNEIS POR OPERÁRIOS DO CUPIM DE MONTÍCULO
CORNITERMES CUMULANS (ISOPTERA, TERMITIDAE,
SYNTERMITINAE)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção do grau de Bacharel e
Licenciatura em Ciências Biológicas

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Ana Maria Costa Leonardo (orientadora)

Me. Iago Bueno da Silva (coorientador)

Dra. Vanelize Janei

Dra. Amanda Aparecida de Oliveira

Aprovado em: 21 de novembro de 2023

Assinatura do discente

Assinatura do(a) orientador(a)

Assinatura do(a) coorientador(a)

À Nair, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Jussara e Moacir, pelo amor, pelo esforço e pela dedicação em me ajudar tanto com estudos, quanto com a vida pessoal. Sem o apoio de vocês, eu nunca teria chegado até aqui e conquistado tudo que almejei. Não cabe no meu coração, a gratidão que sinto por sempre darem o seu melhor comigo, e por serem amigos além de pais. Além de me proporcionarem a minha irmã canina, Princesa, responsável por tirar bons sorrisos e entretenimento.

Aos meus amigos de Pinhalzinho, Jeferson, Henrique, Leonan, Thales, Raissa, Giovana e Adrian, sou eternamente grato pelo apoio, companheirismo e conselhos recebidos de vocês. A vida não teria a mesma graça e alegria se vocês não estivessem presentes, mesmo que distantes fisicamente.

Agradeço aos meus amigos Hiago, Diego, Gabriel e Mateus, que além das jogatinas, me proporcionam conversas quase diárias sobre todos os assuntos possíveis. Além de claro, me fazerem rir de gargalhar com as maluquices que me falam (*I mean...*), amo muito vocês.

Agradeço aos amigos que a UNESP me proporcionou, Julia, Rafaela, Maria, Daniel, Luiza, Alícia, Letícia, Pedro Godoy, se não fossem por vocês, muitas das minhas crises e trabalhos teriam sido bem piores, além de serem os melhores companheiros de café do mundo. Um agradecimento especial, às minhas amigas Mariana e Aline, por serem minhas confidentes e parceiras para tudo, sempre se mantêm presentes nos momentos bons e ruins, obrigado por me acolherem na vida de vocês.

Agradeço imensamente ao meu amigo Pedro Costa, que foi uma salvação, figurada e literalmente falando, da minha vida ao longo dessa graduação. Nossa conexão é tão sincera e profunda que fomos morar juntos, porque essa amizade é o maior grau de intimidade que já tive com alguém. Obrigado por ser o meu parceiro, amigo, companheiro, puxador de orelha e é claro o meu maior confidente, não existem palavras que consigam descrever a minha gratidão e compaixão que sinto por você. Te amo demais!

Agradeço à Vanelize por me introduzir ao mundo mágico dos cupins, e me ensinar como fazer pesquisas com esses insetos tão incríveis, além de sempre me ajudar quando precisei. Ao Iago, que por além de ser o meu coorientador, foi responsável por segurar a minha onda em todos os surtos que tive ao longo deste trabalho e de tantos outros momentos dessa UNESP, sou eternamente grato.

Agradeço à professora Ana Maria Costa Leonardo, responsável por me transmitir os conhecimentos tão valiosos que precisei ao longo desses quase cinco anos de laboratório. Agradeço pela paciência e dedicação por esse tempo que fui seu orientado.

Agradeço ao Grupo Residência Pedagógica e ao Programa de Educação Tutorial (PET), que além de me fornecer o apoio financeiro pela concessão de bolsas, me transformaram como cidadão e profissional. A experiência que tive nesses grupos de extensão foi incrível e me possibilitou viver coisas maravilhosas junto de pessoas muito esforçadas e competentes.

Agradeço especialmente à professora doutora Marcia Pechula, que além de me orientar durante a minha participação no PET, foi como uma “mãe da graduação” para mim, sempre me ajudando nas escolhas de carreira, e me proporcionando bons papos sobre coisas da vida, obrigado por tudo!

À UNESP (Universidade Estadual Paulista - Campus de Rio Claro) por me proporcionar um espaço livre de circulação de ideias, onde aprendi tanto e me constituí como cidadão pensante e com pensamento crítico. Agradeço também a todos os funcionários que mantêm a universidade de pé, sem vocês, talvez mais prédios, além do nosso querido Instituto de Biociências (IB), já estariam em cinzas também.

RESUMO

A casta operária dos cupins é responsável por diferentes tarefas, como escavação de túneis, construção de ninhos, coleta de alimento, cuidado com indivíduos jovens e alimentação das castas dependentes, entre outras. O uso das antenas, órgão com muitas estruturas sensoriais, é muito importante na comunicação e percepção do ambiente para a realização dessas tarefas. A dinâmica de escavação dos túneis ainda é pouco conhecida em *Cornitermes cumulans*, espécie construtora de montículo, comum no sudeste do Brasil. Deste modo, o presente trabalho avaliou os efeitos da ablação (secção) de antenas sobre a atividade de tunelamento dessa espécie. Assim, foram realizados dois bioensaios prévios com 23 operários e 2 soldados, sendo que no primeiro, todos os 23 operários sofreram ablação total de ambas antenas e no segundo só ocorreu ablação total unilateral, com remoção da antena direita. Nos controles, de ambos os bioensaios, as antenas dos operários permaneceram intactas. Após duas repetições dos experimentos, em ambos bioensaios, que não resultaram em escavação de túneis pelos cupins, optou-se pela realização dos bioensaios 3 e 4. No bioensaio 3, houve ablação parcial da antena direita dos operários, enquanto no bioensaio 4, ocorreu a ablação parcial das duas antenas desses indivíduos. Estes bioensaios, por sua vez, tiveram 5 repetições e 5 grupos controle (sem nenhum tipo de ablação), sendo que em cada grupo havia 23 operários e 2 soldados, e as observações e registros fotográficos ocorreram após 24h e 48h. A partir desses registros, foi analisada a presença de túneis, a classificação dos mesmos em primários e secundários, além da avaliação dos diâmetros mínimos e máximos e comprimento de cada um. Foram confeccionadas lâminas, de montagem total da antena, para a análise de estruturas sensoriais presentes nesses apêndices em operários, com o uso do corante violeta cristal. Os resultados obtidos mostraram que em nenhum bioensaio ocorreu o tunelamento, apenas em grupos controles ocorreram túneis primários e secundários. A ablação retirou grande parte das sensilas quimiorreceptoras, localizadas majoritariamente na parte distal da antena, responsáveis pelo reconhecimento do ambiente e comunicação dos indivíduos, o que pode ter resultado na ausência de tunelamento.

Palavras-chave: sensilas, tunelamento, térmita, comunicação química.

ABSTRACT

The worker caste of termites is responsible for various tasks, such as tunnel excavation, nest construction, food collection, caring for immature individuals, feeding the dependent castes, among others. The use of antennae, appendages with many sensory receptors, is crucial for communication and environment perception when performing these tasks. The dynamics of tunnel excavation are still poorly understood in *Cornitermes cumulans*, a mound-building species common in southeastern Brazil. Thus, this study evaluated the effects of antennal ablation (sectioning) on the tunneling activity by workers of this species. Two preliminary bioassays were conducted with 23 workers and 2 soldiers each. In the first bioassay, all 23 workers underwent total ablation of both antennae, while in the second, only unilateral total ablation occurred, with the removal of the right antenna. The antennae of the workers remained intact in the controls. After two replications for each bioassay, which did not result in tunnel excavation by workers, bioassays 3 and 4 were conducted. In bioassay 3, there was partial ablation of the right antenna of the workers, while in bioassay 4, partial ablation of both antennae of these individuals occurred. These bioassays, in turn, had 5 replications with respective control groups (with no ablation of any kind), using 23 workers and 2 soldiers in each group. Observations and photographic records were made after 24h and 48h. Based on these records, the presence of tunnels was analyzed, and they were classified as primary and secondary in addition to evaluating their minimum and maximum diameters and length. Histological slides were used for the total mounting of the worker antennae, stained with crystal violet, aiming to identify sensory structures present in this organ worker. The results obtained showed that tunneling did not occur in any experimental group, whereas only primary and secondary tunnels occurred in control groups. Ablation removed a large portion of the chemoreceptor sensilla, located mainly in the distal part of the antenna. Since these receptors are responsible for environmental recognition and communication among individuals, their removal might have affected these interactions, resulting in the absence of tunneling.

Key-words: sensillae, tunneling, termite, chemical communication.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	9
1.1	Comunicação entre cupins.....	9
1.2	Construção e escavação de túneis em cupins.....	12
1.3	Biologia de <i>Cornitermes cumulans</i>	14
2	OBJETIVOS.....	14
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1	Cupins.....	15
3.2	Ablação das antenas.....	15
3.3	Bioensaios para observação do comportamento de tunelamento..	16
3.4	Montagem total das antenas.....	17
4	RESULTADOS.....	18
4.1	Bioensaios para a observação do tunelamento.....	18
4.1.1	Bioensaios 1 e 2.....	18
4.1.2	Bioensaios 3 e 4.....	20
4.1.3	Caracterização dos túneis dos bioensaios.....	21
4.2	Análise das antenas.....	23
5	DISCUSSÃO.....	24
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
7	REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO GERAL

Cupins ou térmitas, são insetos sociais com colônias predominantes em regiões tropicais e subtropicais (Eggleton, 2000). O grupo pertence atualmente à ordem Blattaria, infraordem Isoptera, seguindo a classificação de Krishna *et al.* (2013). Além disso, atualmente aceita-se que existem 9 viventes famílias dentro deste grupo: Mastotermitidae, Hodotermitidae, Archotermopsidae, Stolotermitidae, Kalotermitidae, Stylotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae e Termitidae (Krishna *et al.*, 2013).

Os Isopteras são considerados eussociais, ou seja, os indivíduos têm uma relação de divisão de castas, seguindo uma divisão reprodutiva de trabalho, além de sobreposição de gerações dentro de uma mesma sociedade (Engel; Grimaldi; Krishna, 2009). As castas apresentam morfologia específica, que capacita estes indivíduos a desenvolverem determinadas tarefas com eficiência. Entre os indivíduos reprodutores estão o casal real, rei e rainha, que fundam os ninhos e permanecem neles durante toda a vida da colônia (Costa-Leonardo, 2002). Soldados são indivíduos que têm morfologia especializada para a defesa, tais como cabeça e mandíbulas fortemente esclerotizadas, contudo, são incapazes de se alimentarem sozinhos. Os operários são responsáveis pela maioria das tarefas nas colônias, entre elas a coleta e processamento do alimento, construção do ninho e túneis, além da alimentação das outras castas e indivíduos jovens (Grassé, 1982; Eggleton, 2011).

A dieta dos cupins pode ser bastante variada, sendo que eles se alimentam de material vegetal em decomposição, gramíneas, plantas herbáceas, fungos e húmus (Lima e Costa-Leonardo, 2007). Por possuírem essa dieta variada e diferentes hábitos ecológicos, os cupins chamam atenção tanto pela ciclagem de nutrientes no ecossistema quanto pelos danos estruturais de construções humanas e à agricultura (Cameron *et al.*, 2012).

1.1 Comunicação entre cupins

A comunicação pode ser definida como um processo que envolve a transmissão de sinais (Nascimento e Sant'ana, 2001). De acordo com Tegoni *et al.*

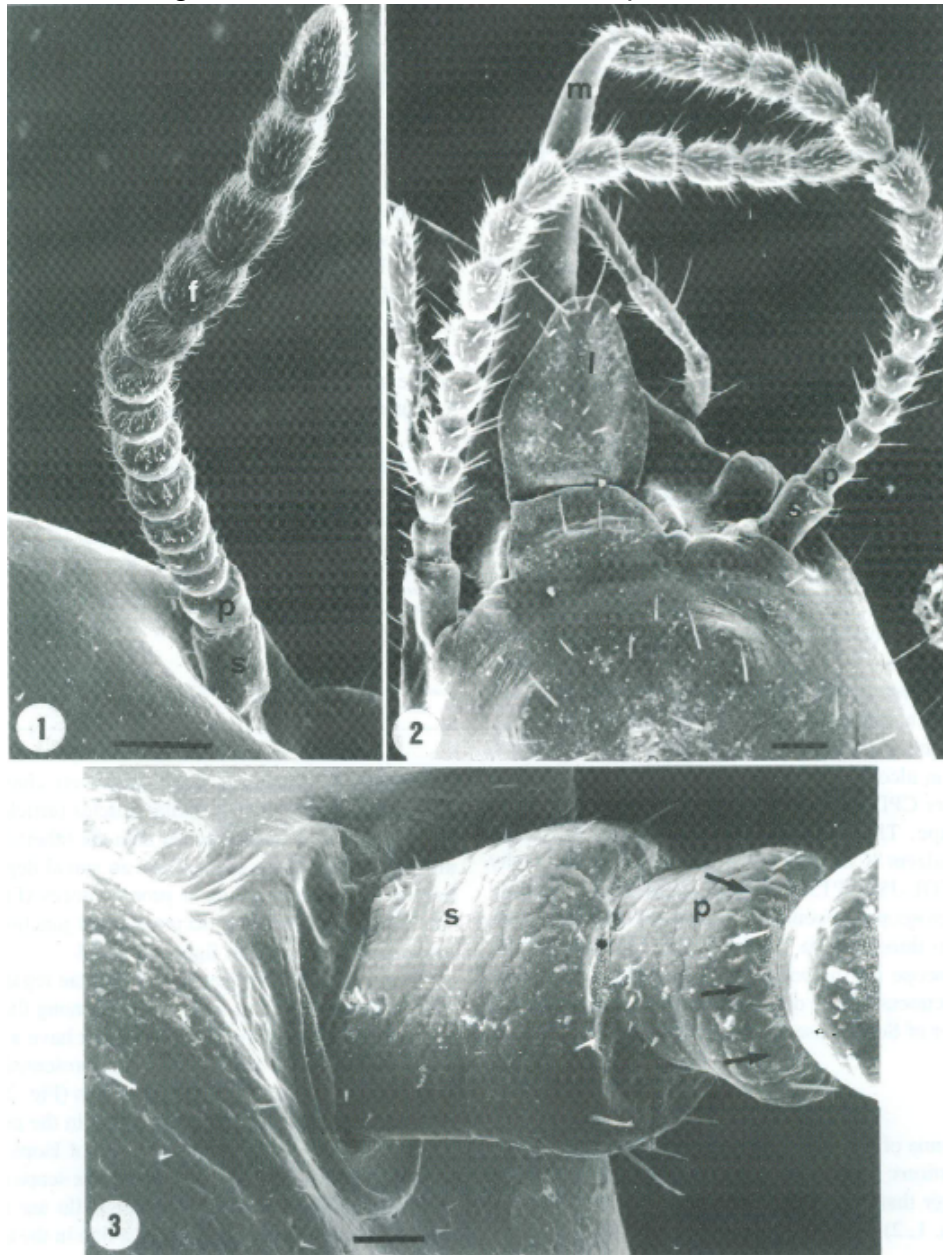
(2004), os insetos constituem o grupo que mais utiliza odores para desempenhar funções vitais, como acasalamento, entre outras atividades. Contudo, nos insetos sociais, a comunicação química é que mantém a coesão e o sucesso da sociedade e essa comunicação é feita por meio de feromônios (Costa-Leonardo *et al.* 2009).

Segundo Vilela e Della Lucia (1987), a comunicação dos insetos por meio de feromônios é controlada por fatores fisiológicos e do ambiente no qual o inseto vive. Além disso, diversos fatores fisiológicos podem agir simultaneamente, determinando a ocorrência, produção e a liberação de um dado feromônio, bem como a resposta do indivíduo a estes compostos químicos. Feromônios são em geral, substâncias constituídas por diferentes compostos, que formam um rastro de odor e com diferentes concentrações dos diversos componentes que o integram. Essas substâncias têm diferentes volatilidades, o que permite a emissão mensagens complexas, veiculando diferentes informações ao mesmo tempo. (Vilela e Della Lucia, 2001).

De acordo com Costa-Leonardo e Hafig (2014), a comunicação química é o tipo de comunicação mais importante para os cupins, e pode envolver estímulos olfativos ou gustativos. Uma grande variedade de produtos químicos pode atuar como feromônios na comunicação interespecífica e quase todas as atividades sociais dos cupins requerem uma ou mais substâncias químicas para comunicação entre indivíduos. Além disso, ocorre comunicação indireta durante as atividades de construção através de um mecanismo auto-organizado no qual a informação que provoca o comportamento dos cupins vem de mudanças no ambiente e não requer contato direto entre indivíduos.

A antena é um apêndice cefálico fundamental para a captação desses sinais químicos e portanto para a comunicação entre os indivíduos da sociedade de cupins. De acordo com Costa-Leonardo e Soares (1997), a antena é composta por três partes principais: escapo, pedicelo e flagelo (Figura 1). O escapo é a região mais proximal da cabeça do inseto, geralmente mais alongado que os demais segmentos antenais, o pedicelo atua como uma conexão entre o escapo e o flagelo, o qual constitui a região do restante da antena, mais distal à cabeça (Yanagawa *et al.*, 2009).

Figura 1 - Micrografias de antenas em microscopia eletrônica de varredura.



1) Antena de um operário de *Serritermes serrifer*. Barra = 100 μ m. 2) Vista dorsal da cabeça de um soldado de *Heterotermes tenuis* mostrando as antenas. Barra = 50 μ m. 3) Escapo e pedicelo de soldado de *Serritermes serrifer*. Barra = 25 μ m. As setas indicam sensilas campaniformes. f = flagelo, l = labro, m = mandíbula, p = pedicelo, s = escapo, * = cutícula.

Fonte: Adaptado de Costa-Leonardo e Soares (1997).

As antenas dos cupins apresentam estruturas sensoriais que captam essas pistas químicas, já que operários e soldados são cegos. Assim, a presença de receptores sensoriais é extremamente importante para a orientação e comunicações nesses insetos (Costa-Leonardo e Soares, 1997), inclusive durante as atividades de forrageamento. Esses órgãos sensoriais são chamados de sensilas, podendo ser

classificadas em tricoides, basicônicas, celocônicas, campaniformes e quéticas (Schneider, 1964; Richard, 1969; Yanagawa *et al.*, 2009). As sensilas tricoides são pelos sensoriais, que podem ser ocos ou não, com o comprimento variado e com diâmetro que diminui gradativamente, enquanto as sensilas basicônicas têm uma forma cônica e apresentam diâmetro na maior parte inalterado. Os tipos sem perfuração podem ser mecanorreceptores, ou seja, conseguem informações por meio de ações mecânicas (Schneider, 1964; Richard, 1969), mas as sensilas perfuradas são sensilas quimiorreceptoras que são estimuladas por substâncias químicas, como os feromônios (Vilela e Della Lucia, 1987). Já as sensilas campaniformes são arredondadas e tem um formato de cúpula, com função mecanorreceptora (Schneider, 1964; Richard, 1969). As sensilas quéticas são mais finas em sua porção mais distal, sem poro terminal, geralmente pequenas e retilíneas (Yanagawa *et al.*, 2009). Por fim, as sensilas celocônicas são pequenas depressões circulares com algumas cutículas em seu entorno (Gómez e Carrasco, 2008).

1.2 Construção e escavação de túneis em cupins

A construção de túneis tem sido bem estudada nos cupins subterrâneos da família Rhinotermitidae, onde essas estruturas são produzidas por uma rotação de operários escavadores que se deslocam em direção ao fim do túnel para remover o solo com suas peças bucais, e depois retornam com ele e o depositam nas paredes de túneis ou em espaços abertos (Bardunias e Su, 2009a). Esses operários escavadores orientam a direção dos túneis gerando um vetor através da integração do caminho, que se afasta da origem do túnel (Bardunias e Su, 2009b) e depois volta para o ponto de origem (Collett *et al.*, 1998). Os operários escavadores removem o solo e a direção dos túneis resulta do acaso (Bardunias e Su 2009b).

Cupins subterrâneos da família Rhinotermitidae escavam uma rede de túneis e galerias em busca de alimento. O forrageamento desses cupins é coordenado pelo feromônio de trilha que é depositado quando os operários pressionam o abdômen contra o substrato e liberam a secreção da glândula esternal. Durante a busca por novas fontes alimentares, os cupins estabelecem trilhas de exploração e quando os

operários exploradores escavam túneis eles se movimentam em curvas e movem constantemente as cabeças e antenas (Reinhard e Kaib 2001). Assim, a escavação de novos túneis é realizada por cupins que varrem repetidamente a ponta do túnel com suas antenas. Desse modo, os cupins escavadores têm interação tátil direta com as paredes do túnel e entre si (Bardunias e Su 2010).

A topologia das redes de túneis pode ser caracterizada em termos de ângulos de ramificação e taxa de ramificação. Quando os cupins encontram depressões nas paredes dos túneis, eles podem escavar o solo da depressão, o que pode resultar na formação de novos ramos, ou podem depositar solo previamente escavado de outro lugar, o que pode preencher a depressão. Assim, a probabilidade de formação de uma nova ramificação é determinada pelo equilíbrio entre a chegada do solo e o preenchimento do vazio e o solo sendo escavado para aumentar o túnel (Bardunias e Su, 2009a). Os elementos básicos do sistema de escavação/deposição e feedback entre os dois podem ter sido selecionados durante a evolução para otimizar a rede de túneis e, assim, manter o equilíbrio custo/benefício da alimentação.

As antenas, como mencionadas anteriormente, possuem um papel fundamental na percepção do ambiente e da comunicação entre cupins, incluindo também o processo de escavação de túneis. Um estudo feito por Bardunias e Su (2010), mostrou que a ablação (secção) de antenas em *Coptotermes* interfere no processo de escavação de túneis, pois os indivíduos do ninho tateiam as câmaras e túneis para guiar o tunelamento e manter uma comunicação efetiva, podendo se aplicar a outras espécies.

Algumas espécies de cupins pertencentes às famílias Rhinotermitidae e Termitidae, constroem ninhos com diversas partes interligadas por meio de túneis, formando túneis compostos (Noirot, 1970). Uma das estratégias para a formação destes tipos de túneis nos ninhos, é encontrada na espécie *Cornitermes cumulans*, onde os indivíduos marcam os locais com fezes para a formação de novos túneis (Torales, 1982).

1.3 Biologia de *Cornitermes cumulans*

A espécie utilizada no presente estudo foi *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832). São cupins endêmicos da região Neotropical e pertencentes à família Termitidae, subfamília Syntermitinae, que constroem ninhos em montículos em áreas urbanas e pastagens, sendo muitas vezes, considerado uma praga estética (Costa-Leonardo, 2002; Cosarinsky, 2011). Os seus ninhos têm uma base com a presença de buracos para a aeração, sendo que em sua fase final de crescimento apresenta uma porção parcialmente emergida do solo e outra totalmente subterrânea (Costa-Leonardo, 2002). Além disso, a superfície mais externa é extremamente dura, constituída principalmente de solo, e a mais interna, mais escura e mole, composta por matéria orgânica associada ao solo (Costa-Leonardo, 2002).

Essa espécie se alimenta principalmente de folhas e raízes mortas de gramíneas, por isso alguns autores a consideram pragas de pastagens (Torales, 1982; Costa-Leonardo, 2005), e constrói uma rede de túneis ao redor do ninho para encontrar os recursos alimentares. Apesar de ser uma das espécies mais comuns na região sudeste do Brasil, pouco se sabe sobre a construção de túneis e os passos envolvidos no processo (Torales, 1982; Jost *et al.*, 2012).

2 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo geral esclarecer a influência da ablação total e parcial das antenas no tunelamento do cupim *Cornitermes cumulans*, utilizando arenas bidimensionais preenchidas com areia umedecida. A hipótese inicial era de que a ablação parcial ou total das antenas em operários resultaria em um efeito negativo na comunicação entre eles e na percepção do substrato, comprometendo a escavação de túneis. Isso ocorreria pois as antenas possuem diversos quimio e mecanorreceptores, responsáveis por mediar a comunicação entre castas e a percepção do ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Cupins

Dois ninhos de *Cornitermes cumulans* foram coletados no Câmpus da Unesp em Rio Claro, SP, Brasil (22° 24' 43.9" S; 47° 36' 34.0" W) respectivamente nos dias 18 de abril de 2023 e 24 de julho do mesmo ano. Em seguida, os ninhos foram transferidos e mantidos em caixas plásticas, em sala climatizada, com ausência de luz, e temperatura de 25 °C $\pm$ 1. A origem dos indivíduos está disposta na Tabela 1:

Tabela 1 - Origem dos cupins presentes no estudo em relação aos seus ninhos.

Ninho	Operários	Soldados
1	276	24
2	184	16
Total	460	40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos experimentos foram utilizados 460 operários e 40 soldados, sendo 276 operários e 24 soldados provenientes do Ninho 1 e o restante do Ninho 2.

Houve a necessidade de coleta do segundo ninho depois do primeiro, pois depois de alguns meses, já não haviam mais soldados e operários viáveis do Ninho 1 para a continuidade do estudo. Assim, o Ninho 2 foi coletado em um local próximo do Ninho 1, sendo que foi transportado e mantido com as mesmas condições que o anterior.

Quando necessário, o ninho foi aberto com o uso de martelo e formão, processo que reduz o mesmo em pequenas porções para que, posteriormente, operários e soldados fossem coletados com o uso de pinças de ponta mole.

3.2 Ablação das antenas

Depois de coletados, os indivíduos eram triados para que apenas os cupins saudáveis e com todas as estruturas corporais intactas sofressem a ablação das antenas. Assim, apenas operários foram resfriados a 4°C por 2 a 4 minutos, com o intuito de diminuir o movimento e limitar a perda de hemolinfa desses insetos.

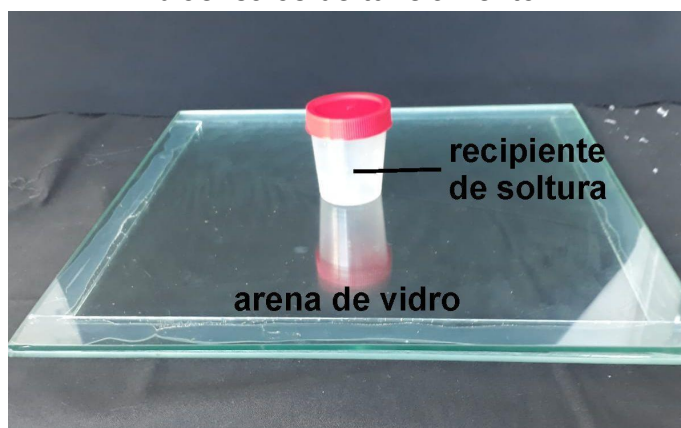
Os insetos foram manipulados sob a lupa Zeiss Discovery v8 para realização da ablação das antenas. Para a ablação parcial, além das pinças entomológicas de ponta dura para imobilizar o inseto, utilizou-se também uma tesoura de dissecação para a secção da antena pela metade de seu comprimento total. Para a ablação total, foram utilizados os mesmos instrumentos, mas ocorreu uma secção da antena inteira. O processo de ablação das antenas dos operários envolveu apenas uma antena ou duas, dependendo do bioensaio em questão.

Após esse processo, os operários foram aclimatados e permaneceram no recipiente de soltura por cerca de 30 minutos, antes da adição de soldados ao mesmo grupo. Por fim, os cupins foram soltos pela conexão entre as arenas bidimensionais e o recipiente plástico que continha os insetos (câmara de soltura).

3.3 Bioensaios para observação do comportamento de tunelamento

Para os bioensaios, foram utilizadas arenas bidimensionais (Arab & Costa-Leonardo, 2005; Chouvenc *et al.*, 2011) compostas por duas placas de vidro (30cm x 30cm x 0,4cm) separadas por uma moldura de vidro (30cm x 2,5cm x 0,2cm). As arenas foram dispostas horizontalmente, sendo que no meio da placa superior foi aberto um orifício. Nesse orifício, foi colocado um recipiente plástico de 80 mL (recipiente de soltura), local onde os grupos de cupins foram postos para serem soltos nas arenas (Figura 2). O orifício no meio da placa foi denominado câmara inicial.

Figura 2 - Arena de vidro e recipiente de soltura dos cupins para realização dos bioensaios de tunelamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No espaço existente entre as placas de vidro (altura de 0,2 cm) foi colocada uma matriz com umidade de 85%, composta de areia esterilizada e água destilada. A areia utilizada foi esterilizada em estufa, e depois misturada à água destilada para que atingisse a umidade desejada. Após a colocação da matriz entre as placas de vidro, foi deixada uma área central sem a mesma, para o encaixe do pote de soldura, ou seja, a denominada câmara inicial.

Na presente pesquisa foram realizados dois bioensaios prévios com 23 operários e 2 soldados, sendo que no bioensaio 1, todos os 23 operários sofreram ablação total de ambas antenas e no bioensaio 2 só ocorreu ablação total unilateral, com remoção da antena direita. Nos controles, de ambos os bioensaios, as antenas dos 23 operários permaneceram intactas. Após duas repetições dos experimentos, em ambos bioensaios, que não resultaram em escavação de túneis pelos cupins, optou-se pela realização dos bioensaios 3 e 4.

Assim, neste estudo foram realizados mais 2 bioensaios com 2 diferentes grupos experimentais: no bioensaio 3, houve ablação parcial da antena direita dos operários, enquanto no bioensaio 4, houve ablação parcial das duas antenas desses indivíduos. Ou seja, a parte distal do flagelo das antenas foi seccionada. Cada bioensaio compreendeu cinco repetições experimentais e cinco controles (operários sem qualquer tipo de ablação das antenas), sendo que em cada unidade experimental foram utilizados 23 operários e 2 soldados, provenientes do mesmo ninho.

Posteriormente, os grupos (23 operários e 2 soldados de cada repetição) foram soltos com a ajuda do recipiente de soldura na câmara inicial, e em seguida, as extremidades das placas de vidro foram fechadas com prendedores de fichário grandes.

Para cada repetição, foi realizado um registro fotográfico da arena de tunelamento com uma câmera digital no período exato de 24h e 48h após a montagem de cada experimento. Para cada fotografia, uma régua foi posicionada ao lado das placas de vidro (arenas) como referência de escala.

3.4 Montagem total das antenas

Alguns operários do ninho 1 foram fixados em FAA (álcool absoluto, ácido acético glacial, formaldeído 40%, 3:1:1). As antenas desses operários foram seccionadas e coradas com uma solução de violeta cristal, segundo a técnica de Slifer (1960) com o objetivo de identificar e localizar os diferentes tipos de sensilas com poros presentes na referida estrutura. Posteriormente, as antenas foram mantidas no corante por cerca de 25 minutos, lavadas em água destilada e posicionadas em lâmina histológica, coberta por uma lamínula. As antenas foram observadas e documentadas em fotomicroscópio Leica ICC150, com auxílio do software LAS v4.0 para o registro fotográfico.

3.5 Processamento de dados

No presente estudo foi avaliado o número e o comprimento dos túneis formados no grupo controle, sendo esses classificados em primários, secundários, terciários e quaternários, de acordo com Arab e Costa-Leonardo (2005). Além disso, foram medidos os diâmetros mínimos e máximos, assim como os comprimentos dos túneis, com o auxílio do Programa ImageJ (<http://imagej.nih.gov/ij/>), utilizando a ferramenta “straight line” para os diâmetros e “free hand” para o comprimento. Após realização de todas as medidas, foi calculada uma média e respectivo desvio padrão.

4 RESULTADOS

4.1 Bioensaios para observação do tunelamento

4.1.1 Bioensaios 1 e 2

Em ambos bioensaios os cupins não tunelaram, permanecendo no centro das arenas de tunelamento nas duas repetições (Figuras 3 e 4). Verificou-se que qualquer alteração na matriz de areia umedecida foi decorrente da locomoção errática dos indivíduos.

Apesar da sobrevivência, os cupins não apresentaram nenhum vestígio de tunelamento após 24h (Tabela 2), permanecendo desorientados. Contudo, após 48 h de experimento, essa sobrevivência diminuiu (ver item 4.1.2 *Bioensaios 3 e 4*).

Figura 3 - Unidade experimental do bioensaio 1 (ablação total das duas antenas) com observação após 24h.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 - Unidade experimental do bioensaio 2 (ablação total da antena direita) com observação após 24h.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Bioensaios 3 e 4

Os resultados também mostram que nos dois bioensaios onde ocorreu o processo de ablação parcial das antenas (de uma ou duas) os cupins não escavaram nenhum túnel, permanecendo apenas na câmara inicial do teste (Figuras 5 e 6). Além disso as pequenas alterações na matriz de areia umedecida das arenas experimentais, aconteceram também relacionadas à locomoção errática, e não ao processo de escavação propriamente dito. Apesar de não ter ocorrido escavação na matriz de areia, os cupins se movimentavam por toda a câmara inicial, ou seja, centro e periferia.

Figura 5: Exemplar do grupo experimental 3 (ablação parcial da antena direita) após 24h de montagem do experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6: Exemplar do grupo experimental 4 (ablação parcial da ambas as antenas) após 24h de montagem do experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 2 mostra a sobrevivência dos operários e soldados e deve ser notado que em todos os bioensaios, após 24 horas, a maioria dos cupins estava viva, sendo que eles marcaram a arena com fezes, contudo, eles não conseguiram escavar túneis.

Tabela 2 - Sobrevivência dos indivíduos nos Bioensaios de 1 a 4.

Bioensaio	Réplica	Número de Indivíduos Sobreviventes (Operário + Soldado)	
		Após 24h	Após 48h
1	a	22 + 2	14 + 2
	b	16 + 2	15 + 1
2	a	18 + 2	16 + 2
	b	21 + 2	15 + 1
3	a	21 + 2	18 + 2
	b	20 + 1	15 + 1
	c	17 + 2	17 + 2
	d	16 + 2	14 + 2
	e	22 + 2	17 + 2
4	a	21 + 1	16 + 0
	b	19 + 2	18 + 2
	c	14 + 2	11 + 1
	d	19 + 2	17 + 2
	e	22 + 2	18 + 2

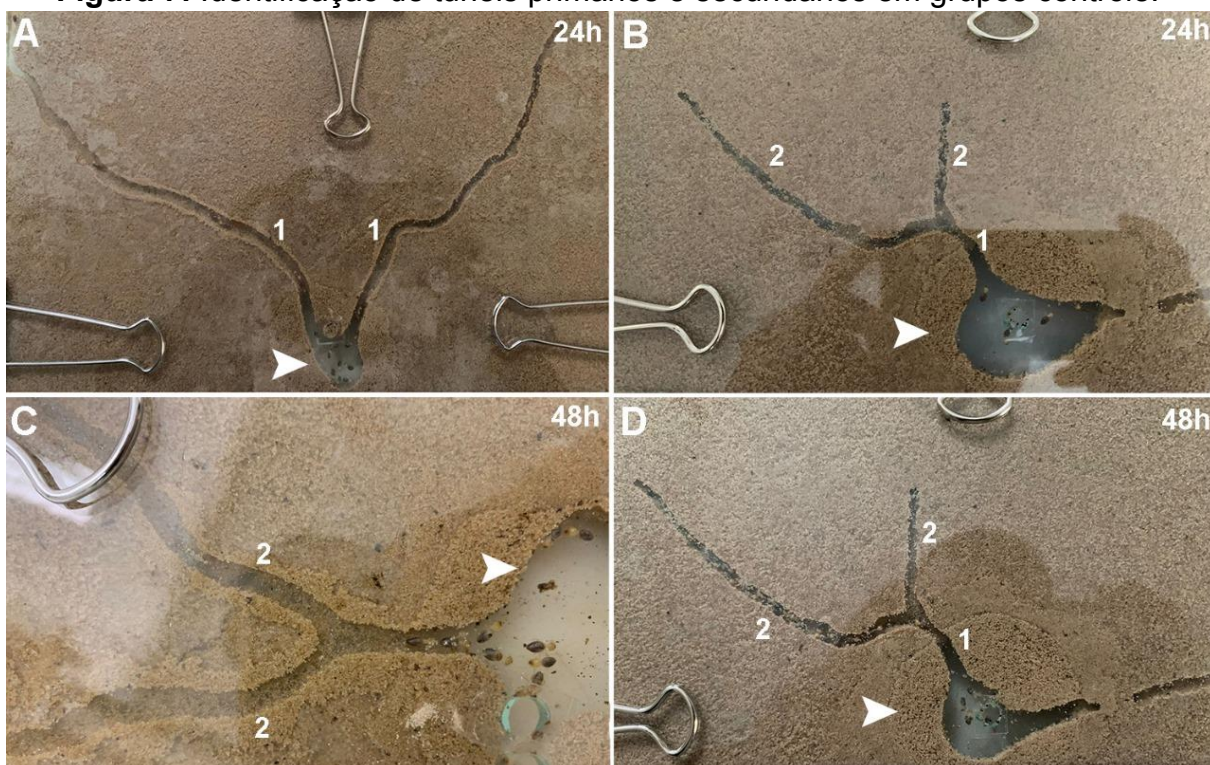
OP = operários. S = soldados. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

4.1.3 Caracterização dos túneis dos bioensaios

Em nenhum grupo controle dos bioensaios 3 e 4 ocorreram túneis terciários seguindo a descrição de Arab e Costa-Leonardo (2005), apenas túneis primários e secundários (Figura 7). Nas primeiras 24h, o número de túneis primários dos grupos controle dos bioensaios 3 e 4 variou de 1 a 4, enquanto os túneis secundários

variaram de 0 a 1. Depois de 48h a quantidade de túneis primários permaneceu de 1 a 4, mas o de secundários variou de 0 a 2. As medidas dos diâmetros e o comprimento dos túneis escavados estão dispostas nas Tabelas 3 e 4.

Figura 7: Identificação de túneis primários e secundários em grupos controle.



A: Escavação de túneis em um grupo controle do bioensaio 4 após 24h, com a presença de 2 túneis primários de grande extensão. B: Grupo controle do bioensaio 3 após 24h, mostrando que depois da bifurcação, os túneis deixam de ser um primário, tornando-se 2 secundários. C: Grupo controle do bioensaio 3 após 48h, apresentando 2 túneis secundários. D: Grupo controle do bioensaio 3 após 48h, indicando o avanço em comprimento na escavação dos túneis. As pontas de seta indicam a câmara de soltura. 1 = túnel primário. 2 = túnel secundário. **Fonte:** elaborado pelo autor.

Tabela 3: Características morfométricas de túneis primários e secundários do experimento 3 após 24 e 48h.

Grupo	Identificação dos túneis	24 h			48 h		
		Diâmetro mínimo (mm)	Diâmetro máximo (mm)	Comprimento (cm)	Diâmetro mínimo (mm)	Diâmetro máximo (mm)	Comprimento (cm)
Controle	Primários	2,512 ± 0,353	4,544 ± 1,268	9,942 ± 5,927	2,787 ± 0,667	5,111 ± 1,541	12,546 ± 7,642
	Secundários	2,346 ± 0,332	3,64 ± 0,605	4,343 ± 0,955	3,166 ± 0,546	4,892 ± 1,012	4,536 ± 0,699
Ablação parcial da antena direita	Primários	-	-	-	-	-	-
	Secundários	-	-	-	-	-	-

Experimento com a ablação parcial da antena direita. Médias dos diâmetros são dados como mm $\pm$ DP e médias de comprimento são dadas em cm $\pm$ DP. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

Tabela 4: Características morfométricas de túneis primários e secundários do experimento 4 após 24 e 48h.

Grupo	Identificação dos túneis	24 h			48 h		
		Diâmetro mínimo (mm)	Diâmetro máximo (mm)	Comprimento (cm)	Diâmetro mínimo (mm)	Diâmetro máximo (mm)	Comprimento (cm)
Controle	Primários	2,588 $\pm$ 0,703	5,178 $\pm$ 1,532	11,016 $\pm$ 4,882	2,437 $\pm$ 0,743	5,801 $\pm$ 1,244	16,574 $\pm$ 8,018
	Secundários	1,86	4,31	3,55	1,76 $\pm$ 0,383	3,742 $\pm$ 1,294	3,147 $\pm$ 0,731
Ablação parcial de duas antenas	Primários	-	-	-	-	-	-
	Secundários	-	-	-	-	-	-

Experimento com a ablação parcial das duas antenas. Médias dos diâmetros são dados como mm $\pm$ DP e médias de comprimento são dadas em cm $\pm$ DP. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

4.2 Análise das antenas

Foi observado que o número de segmentos antenais, ou seja, a soma dos segmentos do flagelo com o pedicelo e escapo, registrado nos operários de *Cornitermes cumulans* variou de 14 a 15 (Figura 8). A montagem das lâminas também evidenciou a presença de alguns órgãos sensoriais, mas com uma concentração de corante na porção onde a antena foi seccionada.

Figura 8: Antena de *Cornitermes cumulans* sob microscopia óptica.

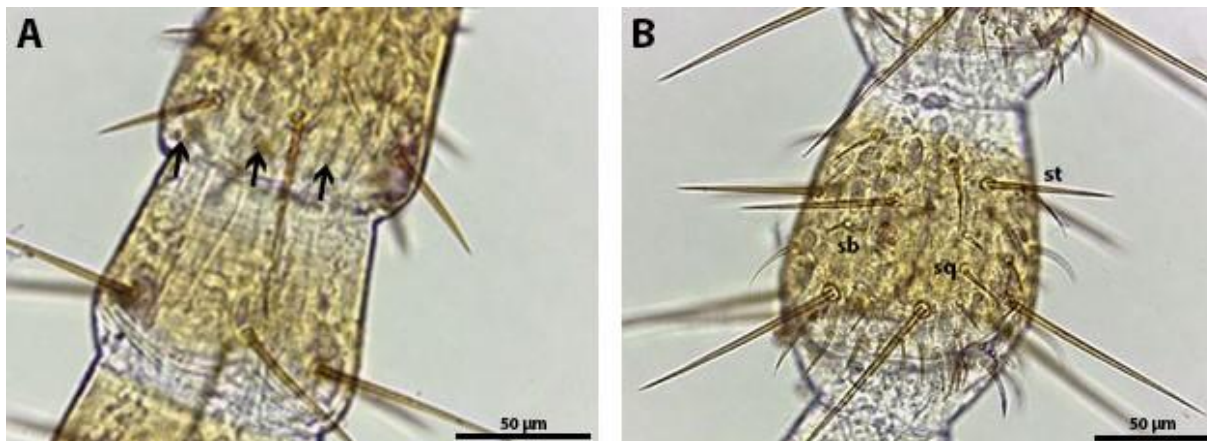


Destaque para os segmentos antenais. E: Escapo. P: Pedicelo. F1-F13: Segmentos flagelares. Barra = 500µm **Fonte:** Elaborado pelo autor.

Com maior ampliação, foi possível observar que o corante violeta cristal corou as sensilas de maneira marcante, principalmente as quimiorreceptoras (Figura 9).

Deu-se destaque para as sensilas tricóides, basicônicas, celocônicas e quéticas pois eram visíveis sob microscopia óptica e eram de interesse do presente estudo.

Figura 9: Detalhes de sensilas em segmentos flagelares de antena em operário de *Cornitermes cumulans*.



A) Destaque de um segmento flagelar da antena, onde as pontas de seta indicam sensilas celocônicas. Barra = 50µm. B) Destaque de outro segmento flagelar da antena com a presença de diferentes tipos de sensila, onde: st = sensila tricóide; sb = sensila basicônica; sq = sensila quética. Barra = 50µm. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

A classificação de cada tipo de sensila varia muito conforme o autor e por isso optou-se pela identificação de sensilas quimiorreceptoras segundo Cruz-Landim (2009). O corante violeta cristal permitiu a visualização de poros e de uma espécie de tubo no interior das sensilas, que é de interesse do estudo, e que demonstra o caráter quimiorreceptor das sensilas tricóides, quéticas, basicônicas e celocônicas. Com a observação da antena sob microscópio óptico, percebeu-se que a distribuição de sensilas varia conforme o segmento de antena. Assim, os resultados mostram que existem mais sensilas quimiorreceptoras nas porções distais do flagelo das antenas dos operários, do que nas proximais, junto da cabeça.

5 DISCUSSÃO

No presente estudo foi adaptada a metodologia de Arab e Costa-Leonardo (2005) e Chouvenc *et al.* (2011) no uso de arenas bidimensionais de vidro, o que permite uma boa visualização das atividades dos cupins em laboratório. Dessa forma, foi observada a escavação de túneis ou a ausência dos mesmos, nas arenas utilizadas com *Cornitermes cumulans*. Campora e Grace (2009) relataram que o uso

de arenas artificiais é um dos melhores métodos para a observação de tunelamento em espécies de cupins subterrâneos.

Os cupins subterrâneos mostram uma intensa escavação de túneis, dependendo do equilíbrio entre forrageamento, comunicação entre os indivíduos, alimentação, entre outros (Bardunias e Su, 2009a). Por serem animais com um modo de vida críptico, a comunicação química e mecânica tem uma importância muito significativa (Costa-Leonardo, 2002). Isso implica uma ocorrência de sensilas mecano e quimiorreceptoras por todo o corpo, mas as antenas têm um destaque por serem as principais vias de comunicação entre esses animais (Costa-Leonardo, 2002).

Os resultados obtidos no presente estudo mostram que operários de *Cornitermes cumulans* que sofreram ablação das antenas não escavaram nenhum túnel, fosse essa ablação parcial ou total de uma ou duas antenas. Esse fenômeno não acontece em decorrência da mortalidade dos cupins, mas porque a percepção do ambiente e a comunicação entre os indivíduos foi prejudicada com a secção das antenas, eliminando porções que contém muitas sensilas.

Bardunias e Su (2010a) em seu estudo, de maneira semelhante ao presente trabalho, submeteram indivíduos de *Coptotermes formosanus* à uma ablação total de uma antena para verificar a atividade de tunelamento. Porém o resultado do estudo em questão mostrou que os operários sem uma antena não tiveram uma mudança significativa no tunelamento quando comparados com os indivíduos que não foram submetidos a ablação.

Espécies subterrâneas fazem escavação em grandes quantidades em busca de alimento e para a expansão do ninho, portanto outros mecanismos podem estar associados a esse processo além da comunicação por antenas. Lee e colaboradores (2008) observaram que em *Coptotermes formosanus*, o processo de tunelamento pode ser alterado por irregularidades no solo, podendo ser diferenças de umidade ou composição do substrato. Ainda em *C. formosanus*, existe uma divisão de tarefas do tunelamento entre os operários, com alguns indivíduos que guiam a escavação, por exemplo (Bardunias, Su e Yang, 2010). Porém cupins do gênero *Cornitermes* são construtores de montículos e não subterrâneos como

Coptotermes, o que pode implicar que os cupins do gênero *Cornitermes* podem ser mais sensíveis à mutilação das antenas.

Ifere e colaboradores (2022) fizeram a ablação de antenas de uma espécie de grilo (*Gryllus bimaculatus*) para verificar a capacidade do animal de desviar de obstáculos, e constataram que mesmo sem uma antena, não existiu uma diferença significativa para o tempo e distância de resposta para algum objeto. Isso demonstrou que para desviar de algum obstáculo, os grilos poderiam usar outros órgãos sensoriais, não apenas mecanorreceptores antenais. Porém, o presente estudo mostrou que grande parte das sensilas de *C. cumulans*, está presente nas antenas, e por serem indivíduos sociais com divisão de tarefas, a ablação teve um grande impacto em suas atividades, tendo um papel fundamental na percepção do ambiente e consequentemente na escavação de túneis.

A análise das antenas dos operários de *C. cumulans* coradas com violeta cristal mostrou que as sensilas quimiorreceptoras predominaram majoritariamente na porção distal do flagelo. Sensilas quimiossensoriais com função de reconhecimento dos companheiros do ninho foram descritas nos segmentos terminais da antena de *Reticulitermes chinensis* (Huang, 2012). A dificuldade em reconhecer os companheiros de ninho poderia ser um dos prováveis motivos da falta de escavação de túneis em *C. cumulans*, que é uma atividade coletiva. Bardunias e Su (2010b) demonstraram que durante todo o processo de tunelamento, cupins da espécie *C. formosanus* tateiam o solo com a antena inteira para o reconhecimento do substrato, mostrando a importância do referido órgão.

Quando foi realizada a secção de metade da antena, o inseto perdeu justamente a porção mais utilizada para a manutenção de parte de seu sistema sensorial. Por este motivo, em todos os bioensaios, mesmo que com ablações diferentes das antenas dos cupins, foi obtido o mesmo resultado. Apesar dos cupins permanecerem vivos, não conseguiram escavar túneis por uma provável falha na comunicação e percepção correta do ambiente.

Os grupos controle por sua vez, que não sofreram qualquer tipo de ablação, conseguiram tunelar e até formar túneis secundários. Porém, no presente experimento não houve fornecimento de nenhum tipo de alimento e além disso, a observação foi respectivamente de 24h e 48h, o que poderia explicar a ausência de

túneis terciários ou quaternários. Diferentemente, no estudo de Campora e Grace (2009), que ofereceram alimento e utilizaram mais tempo de observação (7 dias), os cupins conseguiram escavar túneis quaternários em condições laboratoriais.

Cupins utilizam antenas em diferentes interações sociais (Bagnères e Hanus, 2015), especialmente em espécies que exploram o ambiente aberto, caso de *C. cumulans*, e desenvolveram uma comunicação química eficiente (Sillam-Dussès *et al.*, 2023). A mutilação de antenas, portanto, altera não só a percepção do ambiente, mas também a comunicação entre companheiros de ninho, que coordenam construções a partir da comunicação entre si e das características do substrato (Lee *et al.*, 2008; Jost *et al.*, 2012).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As antenas apresentam diferentes estruturas cuticulares, as sensilas, que abrigam diferentes tipos de neurônios que conseguem perceber substâncias químicas, umidade, temperatura e estímulos táteis. O processo de ablação impede o processo de escavação de túneis, mas não interferiu na sobrevivência dos mesmos.

A comunicação química é essencial para que operários de *Cornitermes cumulans* consigam fazer escavação de túneis, e como foi observado, grande parte das sensilas quimiorreceptoras estão na parte mais distal da antena desses indivíduos. Quando as antenas foram seccionadas, eliminou-se majoritariamente o sistema sensorial dos insetos, o que ocasionou a ausência de determinados comportamentos, como o tunelamento.

Concluindo, são necessários futuros estudos com *C. cumulans* com o objetivo de identificar todas as variáveis que influenciam a escavação de túneis na referida espécie.

7 REFERÊNCIAS

- ARAB, A.; COSTA-LEONARDO, A. M. Effect of biotic and abiotic factors on the tunneling behavior of *Coptotermes gestroi* and *Heterotermes tenuis* (Isoptera: Rhinotermitidae). **Behavioural processes**, v. 70, n. 1, p. 32-40, 2005.
- BAGNÈRES, A. G.; HANUS, R. Communication and social regulation in termites. **Social recognition in invertebrates: The knowns and the unknowns**, p. 193-248, 2015.

BARDUNIAS, P. M.; SU, N. Y. Opposing headings of excavating and depositing termites facilitate branch formation in the Formosan subterranean termite. **Animal Behaviour**, v. 78, n. 3, p. 755-759, 2009a.

BARDUNIAS, P. M.; SU, N. Y. Dead reckoning in tunnel propagation of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 102, n. 1, p. 158-165, 2009b.

BARDUNIAS, P. M.; SU, N. Y. Tunnel orientation by workers of *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae) subjected to unilateral antennal ablation. **Florida Entomologist**, v. 93, n. 2, p. 310-312, 2010a.

BARDUNIAS, P. M.; SU, N. Y. Queue size determines the width of tunnels in the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). **Journal of insect behavior**, v. 23, p. 189-204, 2010b.

BARDUNIAS, P. M.; SU, N. Y.; YANG, R. L.. Behavioral variation among tunnelers in the Formosan subterranean termite. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 13, n. 1, p. 45-49, 2010.

CAMERON, S. L. *et al.* A mitochondrial genome phylogeny of termites (Blattodea: Termitoidae): Robust support for interfamilial relationships and molecular synapomorphies define major clades. **Mol. phylogenet. evol.**, v. 65, n. 1, 2012.

CAMPORA, C. E.; GRACE, J. K. Comparison of tunneling in the laboratory and field by the Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). **Sociobiology**, v. 53, n. 2, p. 389, 2009.

CHOUVENC, T. *et al.* Planar arenas for use in laboratory bioassay studies of subterranean termites (Rhinotermitidae). **Florida Entomologist**, v. 94, n. 4, p. 817-826, 2011.

COLLETT, M. *et al.* Local and global vectors in desert ant navigation. **Nature**, v. 394, n. 6690, p. 269-272, 1998.

COSARINSKY, M. I. The nest growth of the Neotropical mound-building termite, *Cornitermes cumulans*: A micromorphological analysis. **Journal of Insect Science**, v. 11, n. 122, p. 1-14, 2011.

COSTA-LEONARDO, A. M. **Cupins-praga: morfologia, biologia e controle**. Rio Claro, Ana Maria Costa-Leonardo (Ed.), 128p, 2002.

COSTA-LEONARDO, A. M. Arquitetos das pastagens e beiras de estradas. **Ciência Hoje**, v. 36, n. 216, p. 62-65, 2005.

COSTA-LEONARDO, A. M. *et al.* Chemical communication in Isoptera. **Neotropical entomology**, v. 38, p. 1-6, 2009.

COSTA-LEONARDO, A. M.; HAIFIG, I. Termite communication during different behavioral activities. **Biocommunication of animals**, p. 161-190, 2013.

COSTA-LEONARDO, A. M.; SOARES, H. X. Morphological aspects of neotropical termite antenna under scanning microscopy. **Revista brasileira de entomologia**, v. 41, n. 1, p. 47-52, 1997.

CRUZ-LANDIM, C. Abelhas: morfologia e função de sistemas. **Editora Unesp**, São Paulo, p. 349-351, 2009.

EGGLETON, P. Global patterns of termite diversity. **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**, p. 25-51, 2000.

EGGLETON, P. An introduction to termites: biology, taxonomy and functional morphology. In **Biology of termites: a modern synthesis**, p 1-26, 2011.

ENGEL, M. S.; GRIMALDI, D. A.; KRISHNA, K. Termites (Isoptera): Their phylogeny, classification, and rise to ecological dominance. **Am. mus. novit**, v. 3650, p. 27, 2009.

GÓMEZ, V. R. C.; CARRASCO, J. V. Morphological characteristics of antennal sensilla in *Talponia batesi* (Lepidoptera: Tortricidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 101, n. 1, p. 181-188, 2008.

GRASSÉ, P. P. **Termitologia: Anatomie-Physiologie-Reproduction des termites**. Paris: Masson, 676p, 1982.

HUANG, Q. Aggressive behavior and the role of antennal sensillae in the termite *Reticulitermes chinensis* (Isoptera: Rhinotermitidae). **Sociobiology**, v. 59, n. 4, p. 1239-1251, 2012.

IFERE, N. O. *et al.* Spatial perception mediated by insect antennal mechanosensory system. **Journal of Experimental Biology**, v. 225, n. 4, p. jeb243276, 2022.

JOST, C. *et al.* A comparative tunneling network approach to assess interspecific competition effects in termites. **Insectes Sociaux**, v. 59, p. 369-379, 2012.

KRISHNA, K. *et al.* Treatise on the Isoptera of the world. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, n. 377, 2704 pp., 2013.

LEE, S. H. *et al.* Behavioral response of termites to tunnel surface irregularity. **Behavioural Processes**, v. 78, n. 3, p. 397-400, 2008.

LEONHARDT, S. D. *et al.* Ecology and evolution of communication in social insects. **Cell**, v. 164, n. 6, p. 1277-1287, 2016.

LIMA J. T.; COSTA-LEONARDO, A. M. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). **Biota Neotropica**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 243-250. 2007.

NASCIMENTO, R. R.; SANT'ANA, A. E. G. **Feromônios de insetos: Biologia, química e emprego no manejo de pragas**. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, p. 65-71, 2001.

NOIROT, C. The nests of termites. In: KRISHNA, K.; WEESNER, F. M. (eds.). **Biology of Termites**, p. 73-125, 1970.

REINHARD, J.; KAIB, M. Thin-layer chromatography assessing feeding stimulation by labial gland secretion compared to synthetic chemicals in the subterranean termite *Reticulitermes santonensis*. **Journal of chemical ecology**, v. 27, p. 175-187, 2001.

RICHARD, G. Nervous System and Sense Organs. In: KRISHNA, K. e WEESNER, F. M. (eds.) **Biology of Termites**. New York, Acad. Press, v. 1, p 161-192, 1969.

SCHNEIDER, D. Insect Antennae. **Annual Reviews of Entomology**, v. 9, p. 103-122, 1964.

SILLAM-DUSSÈS, D. *et al.* Alarm communication predates eusociality in termites. **Com. Biol.**, v. 6, p. 83, 2023.

SLIFER, E. H. A rapid and sensitive method for identifying permeable areas in the body wall of insects. **Entomological News**, v. 71, p. 178-182, 1960.

TEGONI, M. *et al.* Structural aspects of sexual attraction and chemical communication in insects. **Trends in Biochemical Sciences**, v. 29, p. 257-264, 2004.

TORALES, G. J. Contribución al conocimiento de las termites de Argentina (Pcia. De Corrientes) *Cornitermes cumulans* (Isoptera: Termitidae). **Facena**, v. 5, p. 97-133, 1982.

VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. M. C. **Feromônios de insetos: biologia, química e emprego no manejo de pragas**. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos. 206p. 2001.

VILELA, E.F.; DELLA LUCIA, T.M.C. Feromônios de insetos: biologia, química e emprego no manejo de pragas, Viçosa, UFV, **Imprensa Universitária**. 155p. 1987.

YANAGAWA, A. *et al.* Classification and distribution of antennal sensilla of the termite *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). **Sociobiology**, v. 54, n. 2, p. 327, 2009.