WESLANE SILVA NORONHA

ESTUDO COMPARADO DAS SENSILAS DOS FLAGELÔMEROS ANTENAIS DE DIFERENTES CASTAS E SEXOS DA FORMIGA CORTADEIRA *Acromyrmex subterraneus subterraneus* FOREL, 1893 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Gustavo Ferreira Martins

VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T
N852e
2023

Noronha, Weslane Silva, 1996-
Estudo comparado das sensilas dos flagelômeros antenais de diferentes castas e sexos da formiga cortadeira *Acromyrmex subterraneus subterraneus* Forel, 1893 (Hymenoptera: Formicidae) / Weslane Silva Noronha. – Viçosa, MG, 2023.
1 dissertação eletrônica (38 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Gustavo Ferreira Martins.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, 2023.
Referências bibliográficas: f. 34-38.
DOI: https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.676
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Formiga-cortadeira - Comportamento. 2. Antenas (Biologia). 3. Órgãos dos sentidos. 4. Comunicação animal. I. Martins, Gustavo Ferreira, 1980-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Entomologia. III. Título.

CDD 22. ed. 595.796

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB-6/2523

WESLANE SILVA NORONHA

ESTUDO COMPARADO DAS SENSILAS DOS FLAGELÔMEROS ANTENAIS DE DIFERENTES CASTAS E SEXOS DA FORMIGA CORTADEIRA *Acromyrmex subterraneus subterraneus* FOREL, 1893 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de agosto de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
gov.br
WESLANE SILVA NORONHA
Data: 25/10/2023 14:35:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Weslane Silva Noronha
Autora

Documento assinado digitalmente
gov.br
GUSTAVO FERREIRA MARTINS
Data: 25/10/2023 15:14:47-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Gustavo Ferreira Martins
Orientador

Aos meus pais, irmãs, amigos e sobrinhas.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Gustavo Ferreira Martins pela orientação, paciência e conhecimento repassado ao longo do curso.

À minha mãe por acreditar em mim, na minha força e resiliência, e as minhas irmãs e sobrinhas vocês são minhas motivações.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação, em especial a Eldair Santos da Silva pela amizade, companheirismo e parceria ao longo do curso.

À coordenação e às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Entomologia pela dedicação e apoio.

Ao Laboratório de Biologia Molecular de Insetos.

A Deus por ser meu ponto de fé e equilíbrio.

Agradeço a todos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Lembre-se da minha ordem: “Seja forte e corajoso! Não fique desanimado, nem tenha medo, porque eu, o SENHOR, seu Deus, estarei com você em qualquer lugar para onde você for!”

(Josué 1:9)

RESUMO

NORONHA, Weslane Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2023. **Estudo comparado das sensilas dos flagelômeros antenais de diferentes castas e sexos da formiga cortadeira** *Acromyrmex subterraneus subterraneus* **(Forel, 1893) (Hymenoptera: Formicidae)**. Orientador: Gustavo Ferreira Martins.

As antenas dos insetos atuam como receptores de sinais químicos e físicos e são responsáveis pela comunicação. A percepção desses sinais ocorre por estruturas cuticulares denominadas sensilas, que podem ser diferenciadas tanto pela morfologia, quanto pelas funções exercidas, sendo elas quimio- e mecanorreceptivas. O objetivo deste trabalho foi descrever e comparar as sensilas presentes nas antenas das diferentes castas (operárias máximas e mínimas e rainhas) e sexos de *Acromyrmex subterraneus subterraneus*, utilizando a microscopia eletrônica de varredura. Diferentes tipos de sensilas foram identificadas, sendo elas, céticas dos tipos I, II e III (CtI, CtII e CtIII), tricoides I e II (TI e TII), basicônicas (Ba), ampulacea (Ap) e celocônica (Co). As CtI e CtII se assemelham a pelos, sendo a CtI mais finas e visivelmente menores que as CtII, a CtIII diferencia devido sua curvatura para um lado. As sensilas céticas são as mais abundantes em todas as classes de indivíduos estudadas. As TI possuem comprimento próximo ao das CtI, porém, são mais largas, achatadas e curvadas, acompanhando o formato curvado da antena, sendo normalmente comparadas com o formato de foice. As TII não são achatadas, e com uma leve sinuosidade ao longo de sua estrutura, e são o segundo tipo mais abundante de sensilas em todos os indivíduos estudados. As Ba possuem base larga, são mais arredondadas e com extremidade cônica, afunilando-se pouco em direção à sua extremidade. As Co caracterizam-se por uma depressão na cutícula, contendo uma abertura oval ao centro. As Ap são morfologicamente semelhantes às Co, diferenciando-se apenas pela menor abertura oval ao centro. De forma geral, os mesmos tipos de sensilas foram encontrados nas fêmeas (máximas, mínimas, rainhas) e nos machos de *A. subterraneus subterraneus* e não há diferenças no comprimento das sensilas medidas, entre todos os tipos de indivíduos estudados. As diferenças com relação a presença ou ausência, e a quantidade dessas sensilas são discutidas, considerando suas funções entres os indivíduos estudados.

Palavras-chave: Insetos. Órgãos sensoriais. Comunicação química e física.

ABSTRACT

NORONHA, Weslane Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2023. **A comparative analysis of sensilla on antennal flagellomeres across different castes and sexes in the leafcutter ant** *Acromyrmex subterraneus subterraneus* **Forel, 1893 (Hymenoptera: Formicidae)**. Advisor: Gustavo Ferreira Martins.

Insect antennae are responsible for communication, acting as chemical and physical signal receivers. The perception of these signals occurs by cuticular structures inserted in the antennae, called sensilla. These structures can be differentiated both by morphology and by the functions performed, being they chemo- or mechanoreceptive. The objective of this work was to describe and compare the sensilla present in the antennae of different castes (maximum and minimum workers, and queens) and sexes of *Acromyrmex subterraneus subterraneus*, using scanning electron microscopy. Different types of sensilla were identified, namely, skeptic types I, II and III (CtI, CtII and CtIII), trichoid I and II (TI and TII), basiconic (Ba), ampulaceous (Ap) and celoconic (Co). CtI and CtII resemble hairs, CtI are thinner and visibly smaller than CtII. CtIII differentiates from the other two due to its bending to one side. Skeptic sensilla are the most abundant in all studied classes of individuals. The TI have a length similar to that of the CtI, however, they are wider, flattened and curved, following the curved shape of the antenna, being normally compared with the sickle shape. The TII are not flattened and are sinuous structure. The T were the second most abundant sensilla type in all class of individuals. The Ba have a wide base, are more rounded and have a conical end, tapering a little, resembling a finger. The Co is characterized by a circular depression in the cuticle, containing an oval opening in the center. Ap are morphologically similar to Co, differing only by the smaller oval opening in the center. In general, the same types of sensilla are found in females (maxima, minima, queens) and males of *A. subterraneus subterraneus* and there are no differences in the length of the measured sensilla between the individuals. The differences regarding the presence or absence, and the number of antennal sensilla are discussed regarding to their functions among the studied groups.

Keywords: Insects. Sensory organs. Chemical and physical communication

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Vista dorsal das cabeças de *A. subterraneus subterraneus*. (A) Máxima, (B) Rainha, (C) Macho e (D) Mínima. Setas: ocelos. Barras: 200µm. 18

Figura 2: Visão dorsal das antenas de *A. subterraneus subterraneus*. (A) Máxima, (B) Rainha, (C) Macho e (D) Mínima. Escapo (es); pedicelo (pe); flagelômeros (F1-F11). Barra: 200µm. 19

Figura 3: Sensilas antenais de máximas (A), mínimas (B) e rainhas (C) de *A. subterraneus subterraneus*. (A) Sensilas céticas II e III (CtII e CtIII), basicônicas (Ba), e tricoide I e II (TI e TII). (B) sensilas ampulacea (Ap) e TI. (C) sensilas celocônica (Co) e cética I (CtI). Barras em A, B e C: 3µm, 2µm e 10µm, respectivamente. 20

Figura 4: Sensilas antenais de machos de *A. subterraneus subterraneus*. (A) Céticas II (CtII), tricoide I e II (TI e TII), ampulacea (Ap) e celocônica (Co). (B) ampulacea (Ap) e celocônica (Co). (C) sensilas do tipo cética III (CtIII). Barras em A, Be C: 10µm, 2µm e 20µm, respectivamente. 21

Figura 5: Média total das sensilas antenais de diferentes classes de indivíduos de *A. subterraneus subterraneus*.....23

Figura 6: Média dos tipos de sensilas antenais das castas e sexos de *A. subterraneus subterraneus*. Céticas I, II, III, (Ct), tricoide I e II (T), e celocônica (Co). 23

Figura 7: Comprimento do escapo (a) e pedicelo (b) (médias ± erro padrão) de machos, máximas, mínimas e rainhas de *A. subterraneus subterraneus*. Letras diferentes representam diferença significativa (P< 0,05).....24

Figura 8: Comprimento das sensilas tricoides (µm) dos últimos flagelômeros nos machos (F7, F8, F9, F10, F11) e nas fêmeas (F7, F8, F9) de *A. subterraneus subterraneus*. Os dados são médias ± erro padrão. Letras iguais indicam(P> 0,05). Asterisco (*) indica (P< 0,05).....25

Figura 9: Comprimento das sensilas céticas (µm), em machos, máximas, mínimas e rainhas de *A. subterraneus subterraneus* em todos os flagelômeros (F1 a F9 em fêmeas, e de F1 a F11 em machos). Os dados são médias ± erro padrão. Letras diferentes representam diferença significativa (P< 0,001).....25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo dos tipos de sensilas e suas funções já descritas em Hymenoptera sociais. 15

Tabela 2: Tabela dos tipos de sensilas presentes em cada flagelômeros nas castas. Sensilas céticas (CtI, CtII e CtIII), basicônicas (Ba), tricoides (TI e TII), ampuláceas (Ap) e celocônicas (Co) nos flagelômeros (F1 - F11) em machos, (F1 - F9) e em rainha, máximas e mínimas de *A. subterraneus subterraneus.* 22

Tabela 3: Média e erro padrão (µm) do comprimento das sensilas tricoides e céticas, para machos, mínimas, máximas e rainhas de *A. subterraneus subterraneus*. Sendo F1 primeiro flagelômeros, e assim sucessivamente. 26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....11
2. OBJETIVO..... 16
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....16
3.1 Formigas..... 16
3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....16
3.3 Análises dos dados.....16
3.4 Contagem e medidas das sensilas..... 17
3.5 Estatística.....17
4. RESULTADOS..... 18
4.1 Morfologia geral.....18
4.2 Tipos de sensilas em antenas de *A. subterraneus subterraneus*..... 19
4.3 Número de sensilas.....22
4.4 Morfometria do escapo e pedicelo..... 24
4.5 Morfometria das sensilas tricoides e céticas.....24
5. DISCUSSÃO.....26
6. CONCLUSÕES..... 32
REFERÊNCIAS.....34

1. INTRODUÇÃO

Hymenoptera é umas das ordens de insetos que possui maior diversidade de espécies, hábitos e uma complexidade de comportamento, representada por 132 famílias, sendo as mais conhecidas Formicidae (formigas), Apidae (abelhas) e Vespidae (vespas) (SOUZA, 2011; GULLAN; CRANSTON, 2017). Nesse grupo, estão as formas mais complexas de organizações sociais conhecidas dentro da classe (WILSON, 1971; TRIPLEHORN; JOHNSON, 2015).

As formigas compõem um dos grupos de maior sucesso entre os invertebrados (WILSON, 1987; TRIPLEHORN; JOHNSON, 2015), principalmente em termos de biomassa, diversidade e abundância (NAKANISHI *et al*., 2009). A diversidade desses animais, os torna um dos mais dominantes da fauna terrestre, desempenhando vários papéis ecossistêmicos, influenciando nos processos de regeneração florestal, ciclagem dos nutrientes do solo, degradação de matéria orgânica e dispersão secundária de sementes (WILSON; HÖLLDOBLER, 2005; TRIPLEHORN; JOHNSON, 2015).

Esse grupo de insetos é considerado chave para o estudo dos diversos ecossistemas, pois trazem benefícios para a estrutura física e química dos solos, contribuindo na aeração e ciclagem de nutrientes (BACCARO *et al*., 201.5). O processo de ciclagem envolve a entrada e saída de nutrientes do ambiente, onde as formigas, através da herbivoria, atuam nesse processo (HÖLLDOBLER; WILSON, 2005). Apesar dos benefícios que as formigas cortadeiras desempenham no ambiente, elas são sempre lembradas pelos danos que causam nas monoculturas e outros plantios pelo desfolhamento, afetando o desenvolvimento das plantas, e causando prejuízos financeiros (PEREIRA; SANTOS, 2008; MATRANGOLO *et al*., 2010).

Myrmicinae é a subfamília de formigas com maior diversidade de espécies, incluindo as tribos Crematogastrini, Pogonomyrmecini, Solenopsidini, Myrmicini, Stenammini e Attini, essa última, atualmente com 140 gêneros (BACCARO *et al*., 2015), dentre esses destacam-se o *Atta* e *Acromyrmex* (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990; WARD *et al*., 2015). Esses dois gêneros apresentam distribuição na região Neotropical (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990), tendo como característica marcante o fato de cultivarem fungos para sua alimentação. Espécies de *Acromyrmex* são conhecidas, popularmente, como quenquéns. Existem cerca de 32 espécies nesse

grupo, sendo que 24 dessas são encontradas no território brasileiro (BACCARO *et al*., 2015).

As sociedades de formigas são compostas, majoritariamente, por fêmeas operárias e rainhas, sendo que em geral, as operárias são estéreis e responsáveis pela manutenção do ninho e no cuidado com a prole, e uma única ou poucas fêmeas férteis (rainhas) são responsáveis pela produção de ovos. Dependendo da época do ano, especialmente no período de revoada, é possível encontrar machos dentro das colônias, pois são importantes no processo de reprodução sexuada (DELLA LUCIA, 1993; 2011; BACCARO *et al*., 2015).

Em algumas espécies de *Acromyrmex,* os ninhos podem ser poligínicos, que é a coexistência de mais de uma rainha fértil dentro das colônias, sendo essa característica comum em formigas cortadeiras (DELLA LUCIA; VILELA, 1986; SOUZA *et al*, 2004). *Acromyrmex subterraneus subterraneus*, é uma espécie cujas operárias possuem coloração castanha-clara, às vezes amarelada. Mas, pode também encontrar indivíduos escuros em pequeno número em seus ninhos. Caracteriza-se, sobretudo, pelos espinhos pronotais inferiores longos, retos, pontiagudos, e apontados para a frente; pelos espinhos pronotais laterais e mesonotais anteriores longos e de comprimento subigual, pelos olhos grandes e salientes, e pelos tubérculos do gáster mais ou menos arrumados em quatro fileiras longitudinais (GONÇALVES,1961). A organização desse gênero é acentuada pelo polimorfismo das espécies e a grande variabilidade individual, o que quando comparado com outros grupos de insetos sociais, torna esses indivíduos importantes fontes de diversos estudos (DELLA LUCIA, 1993; DIEHL-FLEIG, 1995).

O polimorfismo é aparente entre as operárias de *Acromyrmex* e reflete nas atividades cooperativas dentro da colônia. Existe uma grande variação de tamanho entre rainhas, operárias maiores (máximas) e menores (mínimas), sendo essas muito acentuadas em *Atta*, e um pouco menos evidente em *Acromyrmex* (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990). O dimorfismo sexual é outra forma de polimorfismo existente nos himenópteros, incluindo variação do tamanho entre machos e fêmeas. Outra característica que varia entre os dois sexos são as antenas, que possuem número de flagelos, tamanhos, quantidade e formas diferentes de sensilas (CARPENTER; MARQUES, 2001; SEVARIKA, *et al*., 2022).

O polietismo nas sociedades de formigas também é bastante complexo, influenciando nas variações de tamanhos, secreção das glândulas exócrinas, e de

espinhos do corpo (DELLA LUCIA, 1993). Atividades como forrageamento, defesa, cuidado com o jardim de fungo e com a rainha, dentre outras funções encontradas dentro das colônias, são desempenhadas pelas diferentes castas (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990; DELLA LUCIA, 1993; BACCARO *et al*., 2015). Essas atividades ocorrem a partir da percepção dos sinais químicos, emitidos pelas glândulas de feromônios, (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990), sendo percebidos por diferentes tipos de sensilas, podendo variar entre as castas.

Antenas e Sensilas

As antenas são o principal órgão dos sentidos dos insetos, e recebem as informações ambientais e comunicação específica, atuando como receptores de sinais químicos e físicos (ZARBIN, 2009). Antenas são um par de apêndices localizados na cabeça, divididas em escapo, pedicelo e flagelos. O escapo está mais próximo à cabeça, sendo ligado a ela por uma membrana flexível; o pedicelo é o segundo seguimento e o menor entre os três; o flagelo é o último seguimento, sendo o mais alongado e com subdivisões designadas flagelômeros ou antenômeros (GULLAN; CRANSTON, 2017). As percepções dos sinais são feitas por estruturas cuticulares inseridas nas antenas, denominadas sensilas (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990).

As sensilas possuem uma função muito importante, atuando na comunicação entre os insetos, e são encontradas em todas as partes do corpo, incluindo antenas, pernas e mandíbulas. Essas estruturas são sensíveis a estímulos químicos e físicos, e estão associadas à mecanorrecepção, higrorrecepção, termorrecepção, percepção olfativa e tátil (CHAPMAN, 1998; RAVAIANO, 2014; FIALHO *et al*., 2014).

As sensilas podem ser classificadas quanto à morfologia, denominadas de tricoides, céticas, celocônicas, basicônicas, placoides, campaniformes e ou coelocapilar e ampuláceas (Tabela 1) (NAKANISHI *et al*., 2009; FIALHO *et al*., 2014). Apesar de apresentarem morfologias diferentes, algumas sensilas podem exercer a mesma função, como por exemplo, as sensilas celocônica e cética, que são consideradas quimiossensíveis (YOKOHARI, 1983; RENTHAL *et al*., 2003; NAKANISHI *et al*., 2009;).

Estudos com sensilas, em himenópteros, representam esforços para identificar os seus diferentes tipos e para conhecer as diferentes funções desempenhadas por cada tipo, como os estudos das sensilas coelocapilar em *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (YOKOHARI; TOMINAGA; TATEDA, 1982; YOKOHARI, 1983), entre outros trabalhos

sobre as estruturas antenais em diversos insetos (FRASNELLI *et al.,* 2010; MONTH-JURIS *et al.,* 2020; SEVARIKA *et al*., 2022; WIKANTYOSO *et al*., 2022).

Nos últimos anos, estudos para compreender as estruturas antenais em formigas foram desenvolvidos, a fim de identificar diferentes sensilas (RENTHAL *et al*., 2003; MARQUES-SILVA *et al*., 2006). Identificações e descrições morfológicas, assim como descrição das diferenças entre os tipos e distribuição de sensilas entre os sexos, foram realizadas em *Camponotus japonicus* Mayr, 1866 (NAKANISHI *et al*., 2009), e estudos sobre diferenças morfológicas nas antenas entre castas e sub castas foram realizadas em *Oecophylla smaragdina* Fabricius, 1775 (BABU; ANKOLEKAR; RAJASHEKHAR, 2011) e em *Camponotus compressus* Fabricius, 1787 (MYSORE; SHYMALA; RODRIGUES, 2010). Variações do tamanho e quantidade de sensilas antenais também foram descritas em diferentes populações de *Atta robusta* Borgmeier, 1939 (EUZÉBIO *et al*., 2013) e também em *Atta vollenweideri* Forel, 1893 (KELBER *et al*., 2009).

Pouco se sabe sobre a função das sensilas antenais nas formigas. Uma exceção, são as sensilas ampuláceas, responsáveis pela percepção do gás carbônico (CO_2) em *Atta sexdens* Linnaeus, 1758 (KLEINEIDAM *et al*., 2000). Além de terem algumas funções desconhecidas, também são escassas as informações sobre suas variações morfológicas encontradas ao longo das antenas, bem como descrições e comparações das sensilas nas diferentes castas de formigas cortadeiras, incluindo as do gênero *Acromyrmex*.

As diferenças entre os tipos, abundância e distribuição das sensilas também estão associados à casta e ao sexo nos insetos sociais. Em formigas, investigações de viés morfológico e fisiológico mostraram que existem diferenças entre os padrões de sensilas das antenas e as tarefas realizadas pelas diferentes castas (OZAKI *et al*., 2005; MYSORE; SHYMALA; RODRIGUES, 2010).

Conhecer as sensilas e suas funções, fornecerá dados sobre as formigas cortadeiras, espécies conhecidas pelos impactos benéficos e maléficos, como os danos causados em áreas de pastagem e reflorestamento, devido ao grande número de indivíduos provocam prejuízos diretos e indiretos, em grandes proporções nas culturas, como também em pastagens naturais (DELLA LUCIA, 1993; PEREIRA; SANTOS, 2008; MATRANGOLO *et al*., 2010).

No estado de Minas Gerais vários estudos com formigas cortadeiras já foram realizados (ARAÚJO; DELLA LUCIA; PICANÇO, 2004; SOUZA; SOARES; DELLA

LUCIA, 2007; REIS *et al*., 2015; SOUZA *et al*., 2021), devido ser considerada a principal praga do gênero *Acromyrmex* nesta região, torna importante a realização de estudos, para compreender a espécies. Ainda não se tem uma descrição morfológica da antena de *Acromyrmex subterraneus subterraneus* Forel, 1893, o que motivou a escolha da espécie como modelo para o presente trabalho.

Tabela 1*:* Resumo dos tipos de sensilas e suas funções já descritas em Hymenoptera sociais.

Sensilas	**Abreviação**	**Percepção**	**Referencia**
Tricoide I	TI	Possivelmente sensível a compostos químicos mais voláteis, como os feromônios de alarme.	Dumpert, 1972; Hashimoto, 1990; Fialho *et al*. 2014; Renthal *et al*., 2003; Nakanishi *et al*., 2009.
Tricoide II	TII	Possivelmente quimiossensível.	Renthal *et al*., 2003; Nakanishi *et al*., 2009.
Basicônica	Ba	Sensível aos hidrocarbonetos de cutícula em formigas.	Hashimoto, 1990; Renthal *et al*., 2003; Ozaki *et al*., 2005; Nakanishi *et al*., 2009.
Coelocapitular	Cc	Higro e termossensível em abelhas.	Yokohari *et al*., 1982; Nakanishi *et al*., 2009.
Celocônica	Co	Possivelmente quimiossensível, mas termosensível em formigas e higrossensível em abelhas.	Fialho *et al*. 2014; Yokohari, 1983; Hashimoto, 1990; Renthal *et al*., 2003; Nakanishi *et al*., 2009; Ruchty *et al*., 2009.
Ampulácea	Ap	Sensível ao CO_2 em formigas cortadeiras e possivelmente o mesmo para abelhas.	Lacher, 1964: Hashimoto, 1990; Kleineidam *et al*., 2000: Nakanishi *et al*., 2009.
Cética I e II	CtI e CtII	Possivelmente mecano e quimiossensíveis.	Nakanishi *et al.,* 2009.
Cética III	CtIII	Possivelmente sensível aos compostos químicos de contato.	Nakanishi *et al*., 2009.
Placoide	PL	Possivelmente quimiossensíveis	Fialho *et al*. 2014.

Fonte: Próprio autor.

2. OBJETIVO

Descrever as sensilas presentes nas antenas das diferentes castas e sexos de *A. subterraneus subterraneus*.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Formigas

Foram coletadas, por meio de busca ativa, sete machos e nove rainhas de *A. subterraneus subterraneus* no mês de novembro de 2022, durante o período de revoada, que ocorre após as primeiras fortes chuvas (DELLA LUCIA, 1993), no *Campus* da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Dez operárias máximas (forrageadoras) e dez mínimas (jardineiras), foram coletados em dois ninhos do Insetário, localizado na UFV.

3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Antenas direitas dos espécimes (rainhas, machos, operárias máximas e mínimas) foram fixadas em paraformaldeído 4%, por no mínimo duas horas, e lavadas com PBS (fosfato salina tamponada, 0,1M, pH 7,2), seguido da desidratação em soluções crescentes de acetona (30% a 100%) por sete minutos em cada uma das soluções.

As antenas foram secadas em aparelho de ponto crítico (Secador de ponto crítico Balzers CPD 030) e montadas com o dorso para cima, em suportes de alumínio, para posterior metalização, utilizando um dispositivo de revestimento por pulverização (Metalizador Quorum Q150R S). Após a metalização, as antenas foram fotografadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV, Leo 1430VP) no Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV (NMM-UFV).

3.3 Análises dos dados

Foram feitas análises qualitativas e quantitativas das partes antenais (escapo, pedicelo e flagelo), e das sensilas encontradas na superfície dorsal dos flagelômeros antenais. As identificações das sensilas foram feitas de acordo com a classificação utilizada por Hashimoto (1990), Renthal *et al*. (2003) Nakanishi *et al*. (2009), e Fialho *et al*. (2014).

3.4 Contagem e medidas das sensilas

As sensilas dos flagelômeros foram contadas e o comprimento medido utilizando o programa Image-ProPlus 4.5 (NASCIMENTO; SALOMÃO; MARTINS, 2013). Para a contagem da quantidade total de sensilas e dos tipos, foi excluído o último flagelômeros, devido seu tamanho e não ter obtido imagens nítidas e completa. Foi estabelecido um limite central (dorsal) para a contagem das sensilas. Foram contadas duas antenas de cada classe de indivíduos (máxima, mínima, rainha e macho), não aplicamos análise estatística para os dados de quantidade.

Todos dados obtidos foram inseridos em uma planilha do Excel, constituindo um banco de dados de referência. Foi realizada uma análise descritiva dos dados, onde calculamos a média da quantidade e tipos de sensilas por classe de indivíduos.

Já para o comprimento foram escolhidas as sensilas do tipo céticas e tricoides devido suas formas e abundância nas castas máxima, mínima e rainha, e nos machos. Foram selecionadas dez sensilas por flagelômeros, sendo cinco repetições (antenas), por castas, foi aplicado a estatística e obtivemos erro padrão.

3.5 Estatística

Os dados de medidas das sensilas céticas e tricoides foram submetidos à uma análise de variância (ANOVA) e posteriormente ao teste F. Para comparar tamanho das sensilas tricoidea I e céticas I, presente nos flagelos de cada casta, foi construído um modelo linear geral (GLM) com distribuição gaussiana usando “tamanho das sensilas” como variável de resposta e castas e flagelo como variáveis explicativas. A análise estatística foi realizada por meio do software r (R Core Team 2019).

O comprimento do pedicelo e escapo de cada casta foi comparado através do modelo linear geral (GLM) com distribuição gaussiana, usando tamanho do pedicelo e escapo como variável de resposta e castas como variáveis explicativas. Os resíduos para verificar a adequação e ajuste da distribuição no modelo foram analisados. A análise estatística foi realizada por meio do software r (R Core Team 2019).

4. RESULTADOS

4.1 Morfologia geral

A morfologia da cabeça dos indivíduos das diferentes castas (máximas, mínimas e rainhas) e sexos *de A. subterraneus subterraneus* é diferente. Nota-se a presença de ocelos em rainhas e machos apenas (Figura 1).

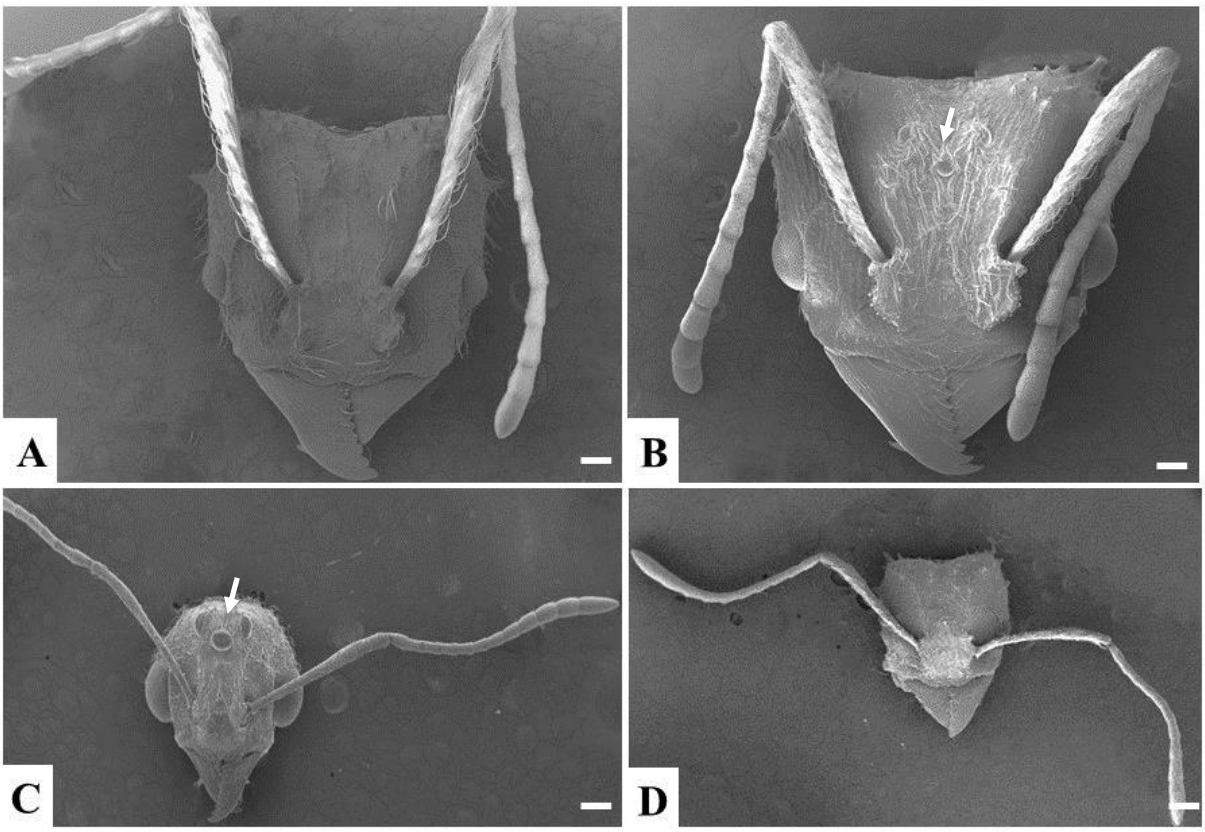

Figura 1: Vista dorsal das cabeças de *A. subterraneus subterraneus*. (A) Máxima, (B) Rainha, (C) Macho e (D) Mínima. Setas: ocelos. Barras: 200µm.

Fonte: Próprio autor.

As antenas de *A. subterraneus subterraneus* apresentam características morfológicas gerais presentes nos demais himenópteros sociais, sendo do tipo geniculada, dividida em escapo, pedicelo e flagelo composto por flagelômeros (Figura 2). As operárias máximas e mínimas, e a rainhas possuem nove flagelômeros (F1–F9), enquanto os machos possuem 11 (F1-F11) (Figura 2).

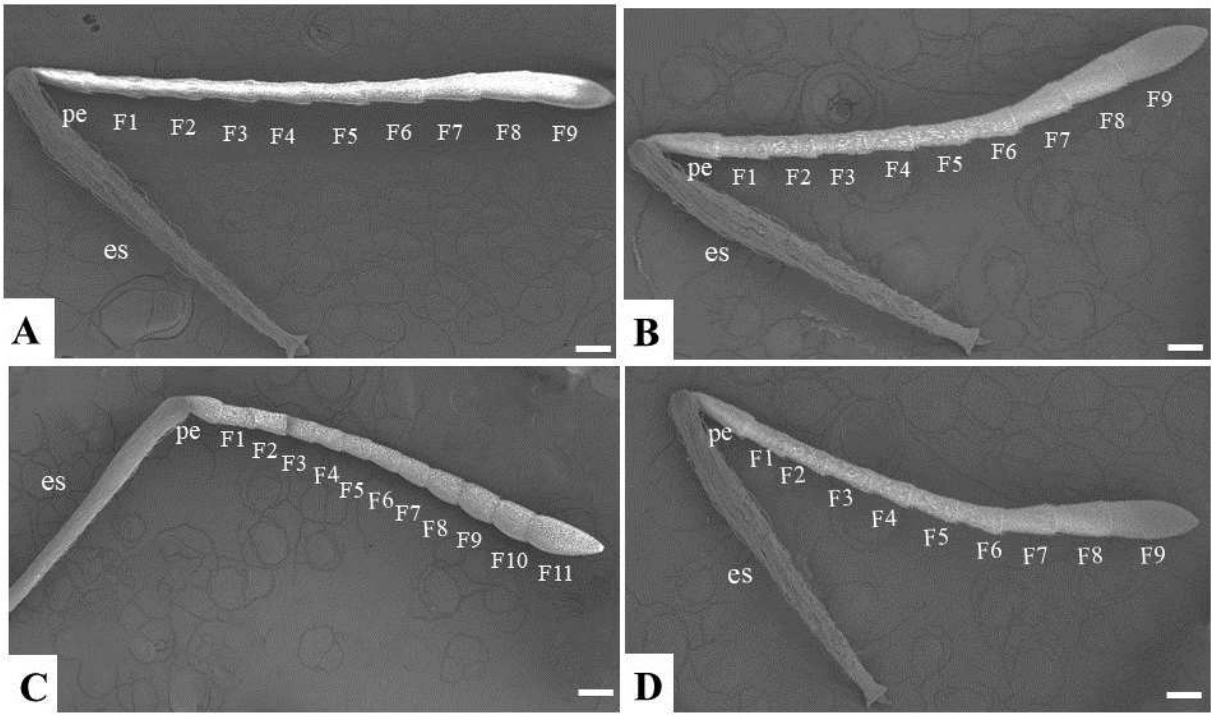

Figura 2: Visão dorsal das antenas de *A. subterraneus subterraneus*. (A) Máxima, (B) Rainha, (C) Macho e (D) Mínima. Escapo (es); pedicelo (pe); flagelômeros (F1-F11). Barra: 200µm.
Fonte: Próprio autor.

4.2 Tipos de sensilas em antenas de *A. subterraneus subterraneus*

Oito tipos de sensilas foram encontradas em *A. subterraneus subterraneus*. Nas castas rainha, máxima e mínima, encontradas sensilas céticas dos tipos I, II e III, tricoides I e II, basicônicas, ampulacea e celocônica, nos machos foram identificadas sensilas do tipo céticas I, II e III, tricoides I e II, ampulacea e celocônica.

As sensilas céticas I e II (CtI e CtII) se assemelham a pelos, sendo a CtI mais finas e visivelmente menores que as CtII. Essas são mais visíveis nas laterais das antenas, sendo curvadas em direção à ponta das antenas (Figura 3). Já céticas do tipo III (CtIII) foram morfologicamente semelhantes às CtI e CtII. Contudo, distinguem-se pelo direcionamento da ponta, que se curva para um lado, se assemelhando a ganchos (Figura 3).

As tricoides do tipo I (TI) possuem comprimento próximo ao das CtI, porém, são mais largas, achatadas e curvadas, acompanhando o formato curvado da antena, comparadas normalmente com o formato de foice. As TII não são achatadas, e com uma leve sinuosidade ao longo de sua estrutura (Figura 3).

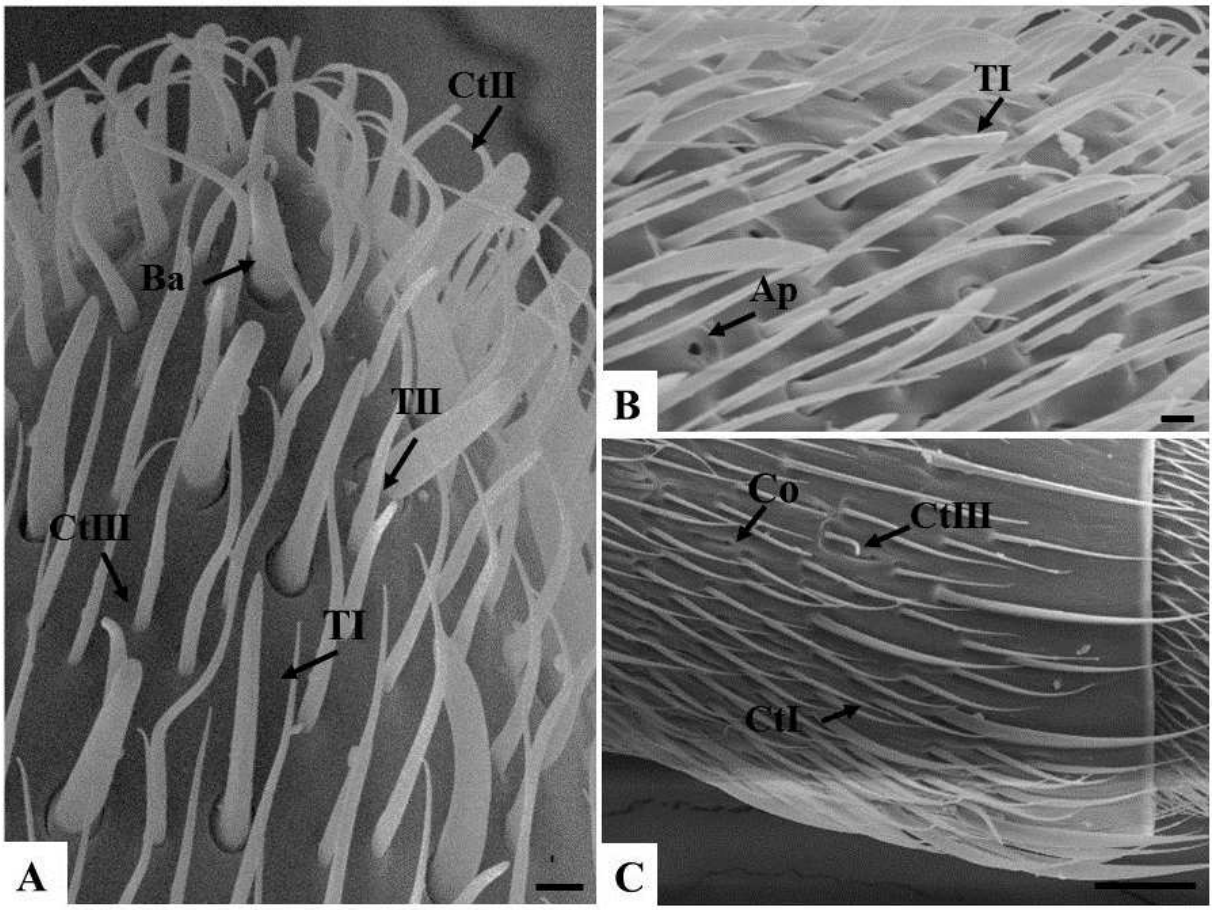

Figura 3: Sensilas antenais de máximas (A), mínimas (B) e rainhas (C) de A. subterraneus subterraneus. (A) Sensilas céticas II e III (CtII e CtIII), basicônicas (Ba), e tricoide I e II (TI e TII). (B) sensilas ampulacea (Ap) e TI. (C) sensilas celocônica (Co) e cética I (CtI). Barras em A, B e C: 3µm, 2µm e 10µm, respectivamente.
Fonte: Próprio autor.

Sensilas basicônicas (Ba) são digitiformes, ou seja, possuem base larga, são mais arredondadas e com extremidade cônica, afunilando-se pouco, gradativamente (Figura 3). As sensilas do tipo celocônica (Co) caracteriza-se por uma depressão circular na cutícula, contendo uma abertura oval ao centro (Figura 4). As do tipo ampulacea (Ap) foram morfologicamente semelhantes às Co, diferenciando-se apenas pela menor abertura oval ao centro (Figura 4).

Quantidade de sensilas variaram entre as castas de *A. subterraneus subterraneus*, sendo encontradas os oito tipos de sensilas nas fêmeas (mínimas, máximas e rainha) (Figura 3) e sete em machos, que tiveram a Ba ausente (Figura 4).

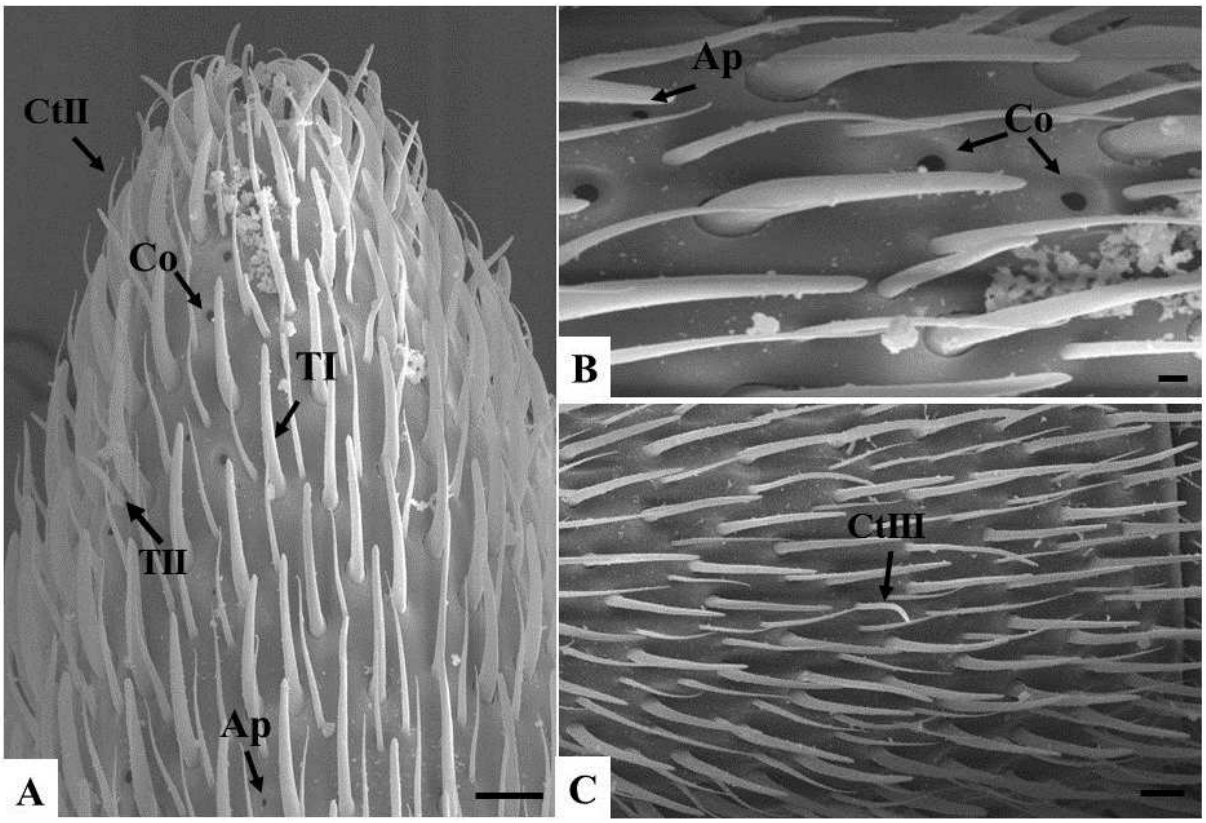

Figura 4: Sensilas antenais de machos de *A. subterraneus subterraneus*. (A) Céticas II (CtII), tricoide I e II (TI e TII), ampulacea (Ap) e celocônica (Co). (B) ampulacea (Ap) e celocônica (Co). (C) sensilas do tipo cética III (CtIII). Barras em A, Be C: 10µm, 2µm e 20µm, respectivamente.
Fonte: Próprio autor.

As CtI e CtII foram encontradas em todos os flagelômeros antenais dos indivíduos estudados. Nas fêmeas também foram detectadas Co em todos flagelômeros (F1-F9), já em machos as Co estavam ausentes no em F1 (Tabela 2). Houve uma maior variedade de sensilas nos últimos segmentos antenais de ambas as castas (Tabela 2). Sensilas TI foram encontradas a partir do sétimo até o último segmento antenal de machos e fêmeas.

Em todas as fêmeas, a presença da Ap foi mais perceptível no último seguimento F9 (Tabela 2), com exceção das máximas que também apresentaram Ap no F6. Sensilas basicônicas foram encontradas a partir do F3 antenal em máxima, do F6 em rainha, e do F4 nas mínimas (Tabela 2).

Tabela 2: Tabela dos tipos de sensilas presentes em cada flagelômeros nas castas. Sensilas céticas (CtI, CtII e CtIII), basicônicas (Ba), tricoides (TI e TII), ampuláceas (Ap) e celocônicas (Co) nos flagelômeros (F1 - F11) em machos, (F1 - F9) e em rainha, máximas e mínimas de *A. subterraneus subterraneus*.

Castas	Flagelômeros										
	F1	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**F7**	**F8**	**F9**	**F10**	**F11**
Macho	CtI CtII	CtI CtII Co	CtI CtII Co	CtI CtII Co	CtI CtII Co TII	CtI CtII Co TII	CtI CtII Co TI TII	CtI CtII Co TI TII	CtI CtII Co TI TII CtIII	CtI CtII Co TI TII CtIII	CtI CtII Co TI TII CtIII Ap
Rainha	CtI CtII Co	CtI CtII Co	CtI CtII CtIII Co	CtI CtII CtIII Co TII	CtI CtII CtIII Co Ba TII	CtI CtII CtIII Co Ba TII	CtI CtII CtIII Co TI TII Ba	CtI CtII CtIII Co TI TII Ba	CtI CtII CtIII Co TI TII Ba Ap		
Máxima	CtI CtII Co	CtI CtII Co	CtI CtII Co Ba	CtI CtII CtIII Co TII Ba	CtI CtII Co Ba	CtI CtII CtIII Co Ba TII Ap	CtI CtII Co TI Ba TII	CtI CtII Co TI Ba TII	CtI CtII CtIII Co TI TII Ba Ap		
Mínima	CtI CtII Co	CtI CtII Co	CtI CtII Co	CtI CtII Co TII Ba	CtI CtII CtIII Co TII Ba	CtI CtII CtIII Co Ba TII	CtI CtII CtIII Co TI TII Ba	CtI CtII Co TI TII Ba	CtI CtII CtIII Co TI TII Ba Ap		

Fonte: Próprio autor.

4.3 Número de sensilas

A quantidade de sensilas foram maiores nas antenas das rainhas (2.907), seguida de máximas (2.336), machos (1.948) e mínimas (1.422) (Figura 5).

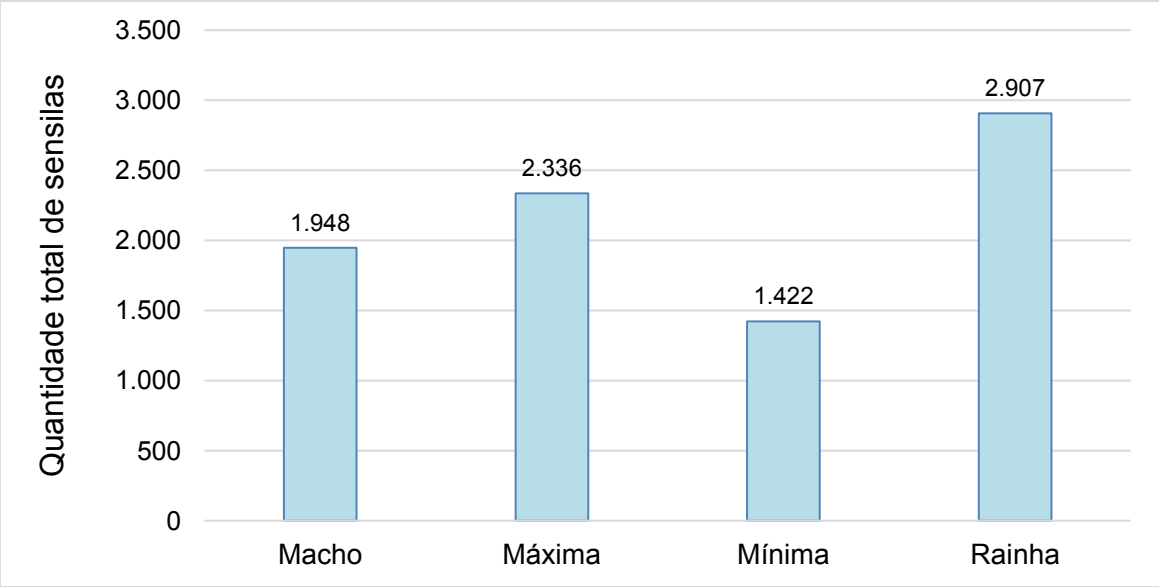

Figura 5: Média total das sensilas antenais de diferentes classes de indivíduos de *A. subterraneus subterraneus*.
Fonte: Próprio autor.

Sensilas Ct foram abundantes em todos os indivíduos com uma média de 1.557 em machos, 2.543 em rainhas, 2.176 em máximas e mínimas com 1.334 (Figura 6). Nos machos, a segunda com maior quantidade, depois de Ct, foram TI-II com 380, em seguida das Co com 11. Nas fêmeas, a segunda mais abundante foram as Co com 124, 98 e 46 unidades, respectivamente. As TI-II e Ba encontradas em menor quantidade nas fêmeas (Figura 6).

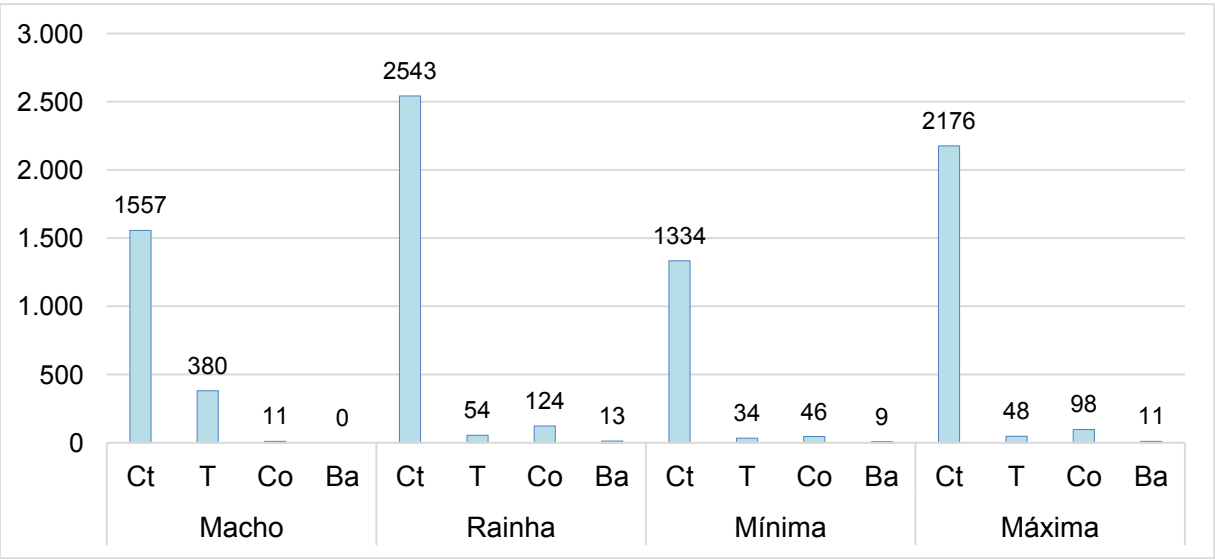

Figura 6: Média dos tipos de sensilas antenais das castas e sexos de A. subterraneus subterraneus. Céticas I, II, III, (Ct), tricoide I e II (T), e celocônica (Co).
Fonte: Próprio autor.

4.4 Morfometria do escapo e pedicelo

O comprimento do escapo difere entre si em todas as castas e sexos, sendo em ordem crescente mínima (13,42 ± 0,51mm), macho (14,91 ± 0.03mm), rainha (19,85 ± 0,36mm), e máxima (20,78 ± 0,48mm; média ± erro padrão) (F (3,16) =13,66 e P<0,001; Figura 7). O comprimento do escapo de máximas e rainhas não diferem entre si (P>0,05; Figura 7).

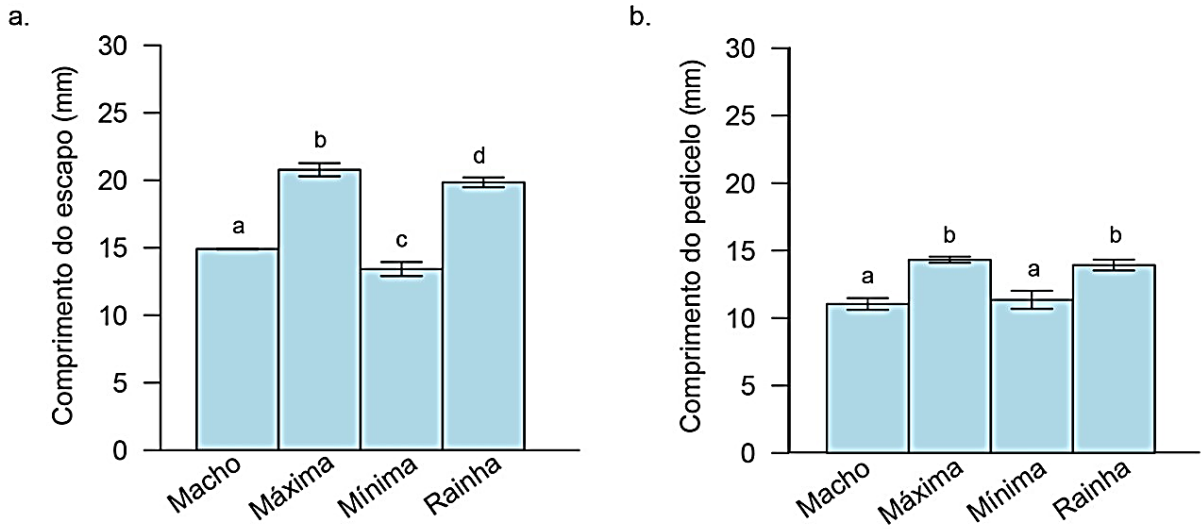

Figura 7: Comprimento do escapo (a) e pedicelo (b) (médias ± erro padrão) de machos, máximas, mínimas e rainhas de A. subterraneus subterraneus. Letras diferentes representam diferença significativa (P< 0,05).
Fonte: Próprio autor.

O comprimento do pedicelo foi maior em máximas e rainhas em comparação às demais castas (Macho: 11,04 ± 0,43mm; Mínima: 11,35 ± 0,66mm; Máxima: 14,32 ± 0,22mm; Rainha 13,93 ± 0,40mm; média ± erro padrão) (F (3,16) = e P<0,01; Figura 7). O comprimento dos pedicelos de máxima, mínima e rainha não diferem entre si (P<0,05; Figura 7).

4.5 Morfometria das sensilas tricoides e céticas

Os comprimentos das sensilas TI-II das rainhas foram maiores do que em machos, máximas e mínimas (F(3,66) = 4,24; P < 0,05; Figura 8), e o comprimento das sensilas dos flagelômeros de cada casta não difere entre si (F3,66)= 0,068; P>0,05; Figura 8; Tabela 3).

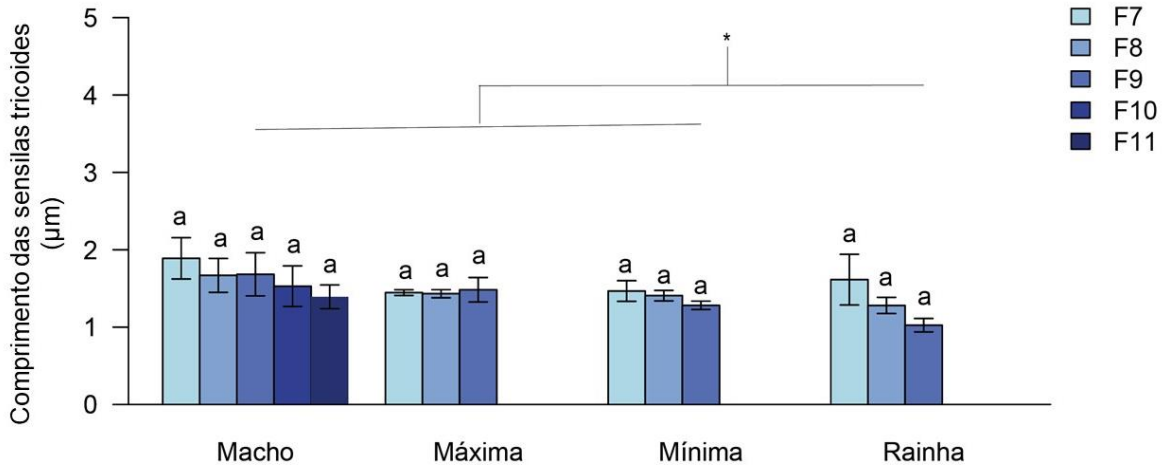

Figura 8: Comprimento das sensilas tricoides (µm) dos últimos flagelômeros nos machos (F7, F8, F9, F10, F11) e nas fêmeas (F7, F8, F9) de A. subterraneus subterraneus. Os dados são médias ± erro padrão. Letras iguais indicam(P> 0,05). Asterisco (*) indica (P< 0,05).
Fonte: Próprio autor.

O comprimento das Ct nas rainhas foi maior do que nos machos e mínimas, mas não difere de máxima (F (3,186) = 26,16; P < 0,001; Figura 9; Tabela 3). Os comprimentos das sensilas dos F8 e F9 das máximas e de rainhas são diferentes dos demais flagelômeros da mesma casta (F (10,176) = 4,08; P<0,001) (Figura 9; Tabela 3), e o mesmo acontece para o F11 dos machos.

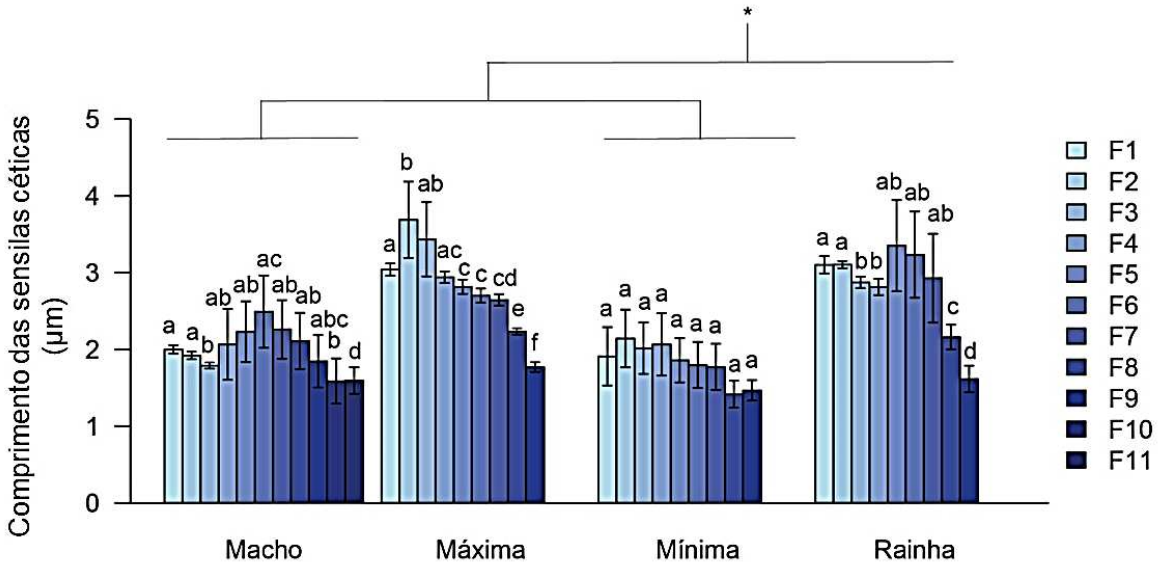

Figura 9: Comprimento das sensilas céticas (µm), em machos, máximas, mínimas e rainhas de *A. subterraneus subterraneus* em todos os flagelômeros (F1 a F9 em fêmeas, e de F1 a F11 em machos). Os dados são médias ± erro padrão. Letras diferentes representam diferença significativa (P< 0,001).
Fonte: Próprio autor.

Tabela 3: Média e erro padrão (µm) do comprimento das sensilas tricoides e céticas, para machos, mínimas, máximas e rainhas de *A. subterraneus subterraneus.* Sendo F1 primeiro flagelômeros, e assim sucessivamente.

Casta	Tipo de sensila	Média ± erro padrão (µm)										
		F1	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**F7**	**F8**	**F9**	**F10**	**F11**
Macho	Tricoide	-	-	-	-	-	-	1,888±0,266	1,668±0,219	1,682±0,279	1,528±0,262	1,390±0,153
Mínima	Tricoide	-	-	-	-	-	-	1,466±0,133	1,406±0,067	1,281±0,054	-	-
Máxima	Tricoide	-	-	-	-	-	-	1,445±0,037	1,431±0,051	1,482±0,158	-	-
Rainha	Tricoide	-	-	-	-	-	-	1,613±0,327	1,280±0,104	1,024±0,086	-	-
Macho	Cética	2,000±0,055	1,921±0,049	1,790±0,039	2,066±0,462	2,231±0,395	2,492±0,471	2,260±0,381	2,111±0,366	1,845±0,341	1,587±0,294	1,594±0,172
Mínima	Cética	1,909±0,379	2,142±0,375	2,016±0,335	2,067±0,406	1,858±0,289	1,798±0,298	1,773±0,299	1,413±0,176	1,466±0,133	-	-
Máxima	Cética	3,040±0,080	3,689±0,496	3,435±0,484	2,941±0,076	2,816±0,0933	2,700±0,092	2,645±0,074	2,233±0,0414	1,769±0,062	-	-
Rainha	Cética	3,102±0,111	3,105±0,047	2,870±0,074	2,812±0,106	3,352±0,594	3,232±0,562	2,928±0,578	2,167±0,160	1,614±0,174	-	-

Fonte: Próprio autor.

5 DISCUSSÃO

A presença de ocelos em rainhas e machos de *A. subterraneus subterraneus* está relacionada à presença das asas, como relatado em outros himenópteros. Os ocelos contêm células sensíveis à luz polarizada, e sua função é relacionada a orientação de voo (RIBI *et al*., 2011), podendo também ser relacionada com a

reprodução, já que depende que do voo nupcial, para que ocorra a cópula (DELLA LUCIA; 1993).

A maior quantidade de flagelômeros em machos (F1-F11), e menor em fêmeas (máximas, mínimas e rainhas) (F1-F9), está relacionada à capacidade dos machos de reconhecer feromônios no período de acasalamento (DELLA LUCIA; 1993; RENTHAL *et al*., 2003). Essa diferença no número de flagelômeros é uma característica do dimorfismo sexual, como já relatado em *Dinoponera lucida* Emery, 1901 (MARQUES-SILVA *et al*. 2006) e em algumas formigas do gênero *Camponotus* (NAKANISHI *et al*., 2009; MYSORE; SHYMALA; RODRIGUES, 2010). No entanto, o dimorfismo em termos de flagelômeros não está presente em todos grupos de Hymenoptera, por exemplo, em vespas *Cotesia marginiventris* Cresson, 1865 (Braconidae) e *Microplitis croceipes* (Cresson, 1872), cujas antenas possuem 16 flagelômeros em ambos sexos (DAS *et al*., 2011).

As medidas do escapo e pedicelo, foram maiores nas rainhas, e como já descrito, as fêmeas aladas são indivíduos maiores e mais pesados, enquanto machos são menores e possui a cabeça pequena. As mínimas ou jardineiras são os indivíduos menores responsáveis por cuidado do fungo e as máximas são as operárias maiores responsáveis pela defesa da colônia (WILSON,1980; DELLA LUCIA, 2011). Com base no polimorfismo, pode inferir que os tamanhos das castas, das antenas e dos componentes antenais seguem um padrão corpóreo, onde indivíduos maiores e mais robustos possuem apêndices maiores e os pequenos apêndices menores.

As análises das antenas de *A. subterraneus subterraneus* possibilitou a identificação de oito tipos de sensilas, sendo considerada uma alta diversidade das sensilas dentro dos grupos de formigas estudadas anteriormente, incluindo as espécies *Solenopsis invicta* (RENTHAL *et al*., 2003), *D. lucida* (MARQUES- SILVA *et al*., 2006), *C. japonicus* (NAKANISHI *et al*., 2009) e *Myrmecia pyriformis,* Smith, 1858 (RAMIREZ-ESQUIVEL *et al*., 2014) que apresentam cinco, seis, oito e oito tipos de sensilas nas antenas, respectivamente. Os diferentes números de sensilas encontradas em formigas pode estar relacionado aos diferentes habitats e comportamentos das espécies, como os hábitos alimentares, de *Camponotus* por exemplo, que ingere a líquidos açucarados e insetos mortos (SOLIS; BUENO; MORETTI, 2021), e as *Solenopsis* que consomem uma gama variada de alimentos (CASSILL; TSCHINKEL, 1999), hábitos que diferem das espécies de formigas

cortadeiras, que precisam coletar e selecionar os materiais específicos para a alimentação do fungo.

Diversos aspectos podem interferir nos tipos de sensilas encontradas, como as funções que podem exercer em cada espécies, os comportamentos reprodutivos e os habitats em que vivem. Outras espécies de himenópteros, como *Bombus terrestres,* Linnaeus 1758 (HUANG *et al.*, 2023) e *Anagyrus vladimiri* Triapitsyn, 2019 (SEVARIKA *et al.,* 2022), e o coleóptero *Aplosonyx chalybeus* Esperança, 1831 (MARWEIN, *et al*., 2022) possuem um número semelhante ao encontrado em *A. subterraneus subterraneus*, sendo sete, oito e oito tipos de sensilas, respectivamente.

O número de sensilas de *A. subterraneus subterraneus* foi menor do que os treze tipos encontradas em *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 (RAVAIANO *et al.,* 2014), e os doze no grupo de vespas da galha Cynipoidea (POLIDORI; NEVES-ALDREY, 2014). Esses valores podem ou não ser relacionado com as funções que essas sensilas exercem dentro de cada espécies mencionadas. Como também essas diferenças podem ser resultado de uma divergência entres as nomenclaturas usadas para identificação nos diferentes estudos.

Dentre as sensilas identificadas, as T apresentam vários morfotipos, caracterizados como pelos compridos ou curtos encontrados nos flagelômeros, F7, F8, F9, nas castas rainha, máxima e mínima, e F7, F8, F9, F10 e F11 nos machos de *A*. *subterraneus subterraneus.* São possíveis mecanorreceptores ou quimiorreceptores podendo estar relacionadas com os receptores táteis e detecção dos movimentos do ar (GULLA; CRANSTON, 2017; CHAMPMAN, 1998).

A presença de Ba, apenas em fêmeas, pode ser relacionada à função quimiorreceptora de hidrocarbonetos cuticulares (NAKANISHI, *et al*., 2009), sendo responsável pelo reconhecimento de suas companheiras do ninho. A grande quantidade de Ba, especialmente nos últimos flagelômeros antenais de *A. subterraneus subterraneus* está relacionada com a comunicação pela percepção tátil, no contato entre as pontas das antenas, muito usada para reconhecimento entre indivíduos (NAKANISHI *et al*., 2009). Esse padrão também foi observado nas operárias e rainhas de *O. smaragdina* (BABU *et al*., 2011), e em operárias e rainhas de *C. japonicus* (NAKANISHI *et al*., 2009).

As Co estão presentes em todos flagelômeros das fêmeas e ausentes no primeiro flagelômeros dos machos. A presença dessas sensilas nos flagelômeros, pode ser justificada pela sua função de higrorrecepção e termopercepção, como

relatado para *Atta vollenweideri,* (RUCHTY *et al*., 2009). As Co desempenham a função de percepção da umidade, auxiliando o direcionamento no processo de forrageamento, contribuindo para reconhecimento do alimento, corte especifico das folhas, e a seleção do material vegetal para alimentar o fungo, sendo de suma importância a presença nas forrageadoras que realizam essas funções, juntamente com as demais sensilas olfativas (YOKOHARI, 1983; KLEINEIDAM; TAUTZ, 1996). Essa capacidade sensitiva favorece o processo de nidificação, já que as operárias se orientam de acordo com a temperatura do solo, para buscar o melhor ambiente para a construção do ninho (BOLLAZZI; KRONENBITTER; ROCES, 2008).

As Co são fundamentais para a realização de funções que dependam da percepção climática, como a revoada e a seleção do material vegetal. Nas antenas de operárias e rainhas de *O. smaragdina*, as Co se agrupam nos flagelômeros mais distais (BABU *et al*., 2011); enquanto na abelha melífera, tanto as Co quanto as Ap não estão presentes no primeiro e segundo flagelômeros (ESSLEN; KAISSLING, 1976; NISHINO *et al*., 2009). A distribuição difere possivelmente devido à diferença existente entre as espécies, como os hábitos alimentares, locomoção, tipo de ninhos e habitat.

A presença das Ap no último flagelômeros pode estar relacionada à percepção de umidade e temperatura, sendo que sua principal função é a percepção de CO_2 (LACHER, 1964; KLEINEIDAM *et al*. 2000). A sensibilidade a CO_2 dentro da colônia de formigas cultivadoras de fungo é de grande importância, já que o alto consumo de O_2 e a produção do CO_2, pode afetar a respiração da colônia, causando a morte da mesma (KLEINEIDAM; ROCES, 2000).

As TI presente nos cinco últimos flagelômeros dos machos são as segundas mais abundantes, atrás apenas das Ct e são importantes por serem sensíveis ao tato, detecção dos movimentos do ar (NAKANISHI *et al*., 2009; BABU *et al*., 2011). Nas fêmeas de *A. subterraneus subterraneus*, as TI foram encontradas nos três últimos flagelômeros (F7, F8 e F9). As TI são importantes devido às funções quimiorreceptoras, responsáveis por captar, por exemplo, os feromônios de alarme, muito importante nas castas responsáveis pela proteção do ninho (DELLA LUCIA, 1993; 2011; BACCARO *et al*., 2015).

As T também constituem o segundo tipo mais abundantes de sensilas nas antenas de machos, rainhas e operárias de *C. japonicus* (NAKANISHI *et al*., 2009). Em máximas e mínimas de *O. smaragdina*, existe maior quantidade de T nos

flagelômeros mais distais (BABU *et al*., 2011). Nas rainhas, operárias e machos de *S. invicta*, por outro lado, todas as T são encontradas nos dois segmentos mais distais (RENTHAL *et al*., 2003). A presenças dessas sensilas nos seguimentos mais distais, tanto em *A. subterraneus subterraneus* quanto nas demais espécies citadas, relacionam-se às funções exercidas pela mesma, sendo o contato dessas com os ambientes e com os companheiros de ninho, uma importante forma de captar e transmitir informações.

É possível que a sensibilidade das T, como exemplo, a percepção de compostos químicos mais voláteis, relaciona-se às funções que os diferentes indivíduos exercem, como visto em *A. subterraneus subterraneus,* podendo diferenciar entre tipos, quantidade e presença ao longo das antenas. Essas diferenças também foram notadas entre as diferentes espécies já estudadas. Como as antenas de *M. quadrifasciata*, em que as TIII, TIV e TVI não se diferem quanto ao número total na comparação entre operárias e rainha, enquanto as TI, TII e TV são expressivamente diferentes nessas duas castas (RAVAIANO *et al*., 2014).

Todos os tipos de sensilas foram encontrados no último flagelômeros de *A. subterraneus subterraneus*. Houve alguns tipos de sensilas que foram presentes em todos os flagelômeros (Tabela 2). Céticas I e II, por exemplo, estavam presentes em todos os flagelômeros, e foram encontradas também em maior quantidade nas fêmeas, podendo exercer suas funções mecano e quimiorreceptoras. Já em *C. japonicus* (NAKANISHI *et al*., 2009), as CtI e CtII são majoritariamente encontradas nos segmentos distais e proximais de operárias, e machos, sugerindo que possuem uma função quimiossensorial de contato. As CtIII, conhecidas como cética A, também foram encontradas em *C. japonicus*, relacionando também as funções mecanorreceptivas (NAKANISHI *et al*., 2009).

A distribuição desigual de sensilas ao longo da antena, com maior concentração nos últimos flagelômeros (F9) em fêmeas e nos machos (F11), pode ser atribuído ao fato de as formigas tatearem o ambiente com a ponta das antenas (RENTHAL *et al*., 2003). Esse padrão de distribuição também já foi observado em *C. japonicus* (NAKANISHI *et al*., 2009), também relacionando ao contato com o ambiente e as companheiras do ninho.

A quantidade total de sensilas está relacionada com o tamanho das antenas e dos indivíduos de *A. subterraneus subterraneus*, e também as funções que exercem. As rainhas (2.907) e máximas (2.336) possuem as maiores antenas e também tinham

a maior quantidade de sensilas, a rainha desempenha funções especificas para fundação e desenvolvimento do ninho, já as máximas são o grupo responsável pelo forrageamento, atividade que envolve exploração do ambiente, recrutamento para o corte, o corte e o transporte do material cortado até o interior da colônia, bem como sua degradação inicial antes da incorporação ao fungo (DELLA LUCIA, 1993), cuja um maior número de sensilas é importante. Essas operárias também realizam o descarte do lixo, a escavação e a defesa da colônia (DELLA LUCIA, 1993).

Os machos (1.948) possuem antenas pequenas e uma menor quantidade de sensilas e sua função na colônia e exclusivamente a reprodução, às mínimas (1.422) possuíram a menor quantidade de sensilas encontrada, essas realizam funções internas, como o cuidado com o fungo, no recolhimento dos ovos do gáster da rainha e nos cuidados com a prole (DELLA LUCIA, 1993).

Esses resultados diferem do observado em *S. invicta*, onde machos tinham maior quantidade de sensilas que as fêmeas (RENTHAL *et al*., 2003). A quantidade dessas sensilas pode estar relacionada com as funções que cada indivíduo exerce. Por exemplo, as máximas, têm funções importantes dentro e fora do ninho, e possuíram um maior número de sensilas, comparada com machos, que em geral não exercem funções de trabalho dentro das colônias. Operárias de *C. compressus*, que exercem diferentes funções nos ninhos possuíam maior número de sensilas que rainhas e machos (MYSORE; SHYMALA; RODRIGUES, 2010).

Para essas espécies de formigas citadas acima, o dimorfismo sexual em relação ao número de sensilas pode ser explicado pela atração dos machos pela fêmea por meio de feromônios. Contudo, diferem de *A. subterraneus subterraneus* devido ao alto grau de polimorfismo encontrados nas espécies de formigas cortadeiras, com castas e subcastas bem definidas, e possivelmente também aos diferentes hábitos alimentares, como por exemplo *Camponotus* que se alimenta de líquidos açucarados, diferentemente de *Acromyrmex* que se alimenta de fungos cultivados em seus ninhos (CHAPMAN, 1982; BLAND, 1989; SOLIS; BUENO; MORETTI, 2021).

As diferenças de quantidade de Ct entre os indivíduos de *A. subterraneus subterraneus* também pode estar relacionada ao tamanho das antenas de cada subcasta, em que uma maior área corpórea, se relaciona com uma maior a quantidade de sensilas, como também as suas funções mecano e quimiorreceptoras que as Ct exercem, onde maior abundância delas contribui para melhor recepção. Já as TI e TII

tiveram a segunda maior abundância em machos e isso pode estar relacionado à necessidade de receptores táteis e detecção dos movimentos do ar, contribuindo para a detecção do ambiente no período de revoada, sendo a reprodução sua principal função no ninho (DELLA LUCIA, 1993; 2011; BACCARO *et al*., 2015).

A maior quantidade de Co em fêmeas pode ser explicada devido à sua função de higrorrecepção e termopercepção, sendo essas responsáveis por funções bastante dependentes do clima, como a percepção da umidade do solo para escavação, quanto a mudança climática favorável a revoada para as rainhas e condições favoráveis para o forrageamento (DELLA LUCIA, 1993; 2011; BOLLAZZI; KRONENBITTER; ROCES, 2008; BACCARO *et al*., 2015).

As TI-TII e Ct foram mais compridas em rainhas e máximas em relação a mínimas e machos. Para as TI estudadas em *Melipona scutellaris* Latreille, 1811, também houve diferenças significativas no comprimento (NASCIMENTO; *et al*., 2013). Essas diferenças podem ser relacionadas ao polimorfismo presente em formigas cortadeiras, onde as fêmeas e machos, possuem diferentes tamanhos, sendo as sensilas apêndices, proporcional ao tamanho do indivíduo (DELLA LUCIA, 2011).

6. CONCLUSÕES

- As antenas de *A. subterraneus subterraneus* apresentam características morfológicas comuns às antenas de outros Hymenoptera, como a presença de antena do tipo geniculada, composta por escapo, pedicelo e flagelo, composto por flagelômeros. As fêmeas possuem nove flagelômeros e os machos possuem 11 flagelômeros.

- Oito tipos de sensilas foram detectadas nas antenas de *A. subterraneus subterraneus,* sendo elas Ct (I, II e III), T (I e II), Ap, Ba e Co. Notada a ausência da sensila Ba nos machos, já que Ba tem função de reconhecimento de compostos químicos, capazes identificar as companheiras de ninhos, são fundamentais nas operárias, que realizam funções especificas de reconhecimento dentro e fora do ninho.

- A presença de todos os tipos de sensilas nos últimos flagelômeros antenais de *A. subterraneus subterraneus* está relacionada às suas funções e também à percepção tátil desempenhada pelas antenas. Esse é padrão fundamental para o

comportamento das fêmeas, e nos machos, contribuindo com as diferenças etológicas dos indivíduos.

- O comprimento das Ct e T foram relacionadas ao polimorfismo presente entre as castas, máxima, mínima e rainhas, e os machos de *A. subterraneus subterraneus.* Dessa forma, os padrões polimórficos, as percepções ambientais, e as atividades exercidas pelas diferentes classes de indivíduos, são fatores importantes que influenciam na configuração das antenais e sensilas das formigas cortadeiras.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S.; DELLA LUCIA, T. M. C.; PICANÇO, M. C. Impacto da queima da palhada da cana-de-açúcar no ritmo diário de forrageamento de *Atta bisphaerica* Forel (Hymenoptera, Formicidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, p. 33-38, 2004.

BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNÁNDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. D.; SOLAR, R. **Guia para os gêneros de formigas do Brasil.** Manaus: Editora Inpa p. 388, 2015.

BABU, M. J.; ANKOLEKAR, S. M.; RAJASHEKHAR, K. P. Castes of the weaver ant *Oecophyla smaragdina* (Fabricius) differ in the organization of sensilla on their antennae and mouthparts. **Current Science**, v. 101, n. 6, p. 755-764, 2011.

BLAND, R. G. Antennal sensilla of Acrididae (Orthoptera) in relation to subfamily and food preference. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 82, n. 3, p. 368-384, 1989.

BOLLAZZI, M.; KRONENBITTER, J.; ROCES, F. Soil temperature, digging behaviour, and the adaptive value of nest depth in South American species of *Acromyrmex* leaf-cutting ants. **Oecologia**, v. 158, p. 165-175, 2008.

CARPENTER, JAMES M.; MARQUES, Oton M. Contribuição ao estudo dos vespídeos do Brasil. **Universidade Federal da Bahia, Departamento de Fitotecnia, Bahia,** 147p, 2001.

CASSILL, D. L; TSCHINKEL, W. R. Regulation of diet in the fire ant, *Solenopsis invicta*. **Journal of Insect Behavior**, v. 12, p. 307-328, 1999.

CHAPMAN, R. F. **The insects: structure and function**. Cambridge, University Press, 1998.

CHAPMAN, R. F. Chemoreception: the significance of receptor numbers. **Advances in Insect Physiology**, v. 16, p. 247-356, 1982.

DAS, P.; CHEN, L.; SHARMA, K. R.; FADAMIRO, H. Y. Abundance of antennal chemosensilla in two parasitoid wasps with different degree of host specificity may explain sexual and species differences in their response to host-related volatiles. **Microscopy Research and Technique,** v. 74, n. 10, p. 900-909, 2011.

DELLA LUCIA, T. M. C.; VILELA, E. F. Ocorrência de poliginia em *Acromyrmex subterraneus* Forel, 1893 (Hymenoptera: Formicidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 15, p. 377-378, 1986.

DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.) **As formigas cortadeiras**. Ed. Folha da Mata, Viçosa. p. 262. 1993.

DELLA LUCIA, T. M. C. **Formigas-cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

DIEHL-FLEIG, E. **Formigas: organização social e ecologia comportamental**. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 1995.

DUMPERT, K. Alarmstoffrezeptoren auf der Antenne von *Lasius fuliginosus* (Latr.) (Hymenoptera, Formicidae). **Zeitschrift f r Vergleichende Physiologie**, v. 76, n. 4, p. 403-425, 1972.

EUZÉBIO, D. E.; MARTINS, G. F.; SALOMÃO, T. M. F. Morphological and morphometric studies of the antennal sensilla from two populations of *Atta robusta* (Borgmeier 1939) (Hymenoptera: Formicidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, p. 663-668, 2013.

ESSLEN, J.; KAISSLING, K. E. Zahl und Verteilung antennaler Sensillen bei der Honigbiene (*Apis mellifera* L.). **Zoomorphologie**, v. 83, n. 3, p. 227-251, 1976.

FIALHO, M. C. Q.; MATIELL, C. P. G.; ZANUNCIO. J. C.; CAMPOS. L. A. O.; SERRÃO, J. E. A comparative study of the antennal sensilla in corbiculate bees. **Journal of Apicultural Research**, v. 53, n. 3, p. 392-403, 2014.

FRASNELLI, E.; ANFORA, G.; TRONA, F.; TESSAROLO, F.; VALLORTIGARA, G. Morpho-functional asymmetry of the olfactory receptors of the honeybee (A*pis mellifera*). **Behavioural Brain Research**, v. 209, n. 2, p. 221-225, 2010.

GONÇALVES, C. R. O Genero Acromyrmex no Brasil. **Studia Entomologica**, v. 4, p. 113-180, 1961.

GULLAN, P.J.; CRANSTON, P.S. **Os insetos: um resumo de entomologia**. 5.ed. Rio de Janeiro: Roca, 2017.

HASHIMOTO, Y. Unique features of sensilla on the antennae of Formicidae (Hymenoptera). **Applied Entomology and Zoology**, v. 25, n. 4, p. 491-501, 1990.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The Ants**. Harvard University Press, 1990.

HUANG, X; XU, X. L.; LI, R. X.; WANG, S.; TIAN, L. X. Ultrastructure and distribution of antennal sensilla of *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). **Zoologischer Anzeiger**, v. 302, p. 239-247, 2023.

KELBER C.; ROSSLER W.; ROCES F.; KLEINEIDAM C.J. 2009. The antennal lobes of fungus-growing ants (Attini): neuroanatomical traits and evolutionary trends. **Brain Behavior and Evolution**. v. 73, n. 4, p. 273-284, 2009.

KLEINEIDAM, C.; ROMANI, R.; TAUTZ, J.; ISIDORO, N. Ultrastructure and physiology of the CO2 sensitive sensillum ampullaceum in the leaf-cutting ant *Atta sexdens*. **Arthropod Structure & Development,** v. 29, n. 1, p. 43-55, 2000.

KLEINEIDAM, C.; ROCES, F. Carbon dioxide concentrations and nest ventilation in nests of the leaf-cutting ant *Atta vollenweideri*. **Insectes sociaux**, v. 47, p. 241-248, 2000.

KLEINEIDAM, C.; TAUTZ, J. Perception of carbon dioxide and other “air-condition” parameters in the leaf cutting ant *Atta cephalotes*. **Naturwissenschaften**, v. 83, p. 566-568, 1996.

LACHER, V. Elektrophysiologische untersuchungen an einzelnen rezeptoren für geruch, kohlendioxyd, luftfeuchtigkeit und tempratur auf den antennen der arbeitsbiene und der drohne (*Apis mellifica* L.). **Zeitschrift für Vergleichende Physiologie**, v. 48, p. 587-623, 1964.

MARQUES-SILVA, S.; MATIELLO-GUSS, C. P.; DELABIE, J. H. C.; MARIANO, C. S. F.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Sensilla and secretory glands in the antennae of a primitive ant: *Dinoponera lucida* (Formicidae: Ponerinae). **Microscopy Research and Technique,** v. 69, n. 11, p. 885-890, 2006.

MATRANGOLO, C. A. R.; CASTRO, R. V. O.; LUCIA, T. M. C. D.; LUCIA, R. M. D.; 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, p. 952-957, 2010.

MARWEIN, C. B.; DAS, K. S.; LYNGDOH NONGLAIT, K. C.; KHARTHANGMAW, J. M.; CHOUDHURY, S. Scanning electron microscopic studies of the antennal sensilla of *Aplosonyx chalybaeus* (Hope) (Coleoptera: Chrysomelidae). **Microscopy Research and Technique**, v. 85, n. 11, p. 3664-3673, 2022.

MONTH-JURIS, E.; RAVAIANO, S. V.; LOPES, D. M.; FERNANDES SALOMÃO, T. M.; MARTINS, G. F. Morphological assessment of the sensilla of the antennal flagellum in different castes of the stingless bee *Tetragonisca fiebrigi*. **Journal of Zoology**, v. 310, n. 2, p. 110-125, 2020.

MYSORE, K.; SHYMALA, B. V.; RODRIGUES, V. Morphological and developmental analysis of peripheral antennal chemosensory sensilla and central olfactory glomeruli in worker castes of *Camponotus compressus* (Fabricius, 1787), **Arthropod Structure and Development**, v. 39, n. 5, p. 310-321, 2010.

NAKANISHI, A.; NISHINO, H.; WATANABE, H.; YOKOHARI, F.; NISSHIKAWA, M. Sex-specific antennal sensory system in the ant *Camponotus japonicus*: structure and distribution of sensilla on the flagellum. **Cell and Tissue Research**. v. 338. p 79-97, 2009.

NASCIMENTO, M. A.; SALOMÃO, T. M. F.; MARTINS, G. Estudo comparativo das sensilas antenais de operárias de *Melipona scutellaris* (Hymenoptera: Apidae) de diferentes altitudes. **EntomoBrasilis**, v. 6, n. 1, p. 64-67, 2013.

NISHINO, H.; NISHIKAWA, M.; MIZUNAMI, M.; YOKOHARI, F. L. Functional and topographic segregation of glomeruli revealed by local staining of antennal sensory neurons in the honeybee *Apis mellifera*. **Journal of Comparative Neurology,** v. 515, n. 2, p. 161-180, 2009.

OZAKI, M.; WADA-KATSUMATA, A.; FUJIKAWA, K.; IWASAKI, M.; YOKOHARI, F.; SATOJI, Y.; NISIMURA, T.; YAMAOKA, R. Ant nestmate and non-nestmate discrimination by a chemosensory sensillum. **Science**, v. 309, n. 5732, p. 311-314, 2005.

PEREIRA, J. M. M.; SANTOS, G. P. Aspectos socioeconômicos do setor florestal brasileiro. **Informe Agropecuário**, EPAMIG, v. 29, p. 7-13, 2008.

POLIDORI, C.; NIEVES-ALDREY, J. L. Diverse filters to sense: great variability of antennal morphology and sensillar equipment in gall-wasps (Hymenoptera: Cynipidae). **PLoS One**, v. 9, n. 7, p. e101843, 2014.

RAVAIANO, S. V.; FERREIRA, R. D. P.; CAMPOS, L. A. D. O.; MARTINS, G. F. *et al*. The antennal sensilla of *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini): a study of different sexes and castes. **Naturwissenschaften**, v. 101, p. 603-611, 2014.

RENTHAL, R.; VELASQUEZA, D.; OLMOSA. D.; HAMPTON, J.; WERGIN, W. P. Structure and distribution of antennal sensilla of the red imported fire ant. **Micron**, v. 4, n. 8, p. 405-413, 2003.

REIS, M. D. A.; CUNHA, J. P. A. R.; ZANETTI, R.; FERNANDES, B. V.; REIS, J. M. R. Aplicação sistemática mecanizada de isca formicida granulada em eucaliptais em fase de manutenção. **Cerne**, v. 21, p. 423-428, 2015.

RUCHTY, M.; ROMANI, R.; KUEBLER, L. S.; RUSCHIONI, S.; ROCES, F.; ISIDORO, N.; KLEINEIDAM, C. J. The thermo-sensitive sensilla coeloconica of leaf-cutting ants (*Atta vollenweideri*). **Arthropod Structure & Development**, v. 38, n. 3, p. 195-205, 2009.

SEVARIKA, M.; GIANNOTTI, P.; LUCCHI, A.; ROMANI, R. The Antennal Sensory Structures of Female *Anagyrus vladimiri* (Hymenoptera: Encyrtidae). **Insects**, v. 13, n. 12, p. 1138, 2022.

SOLIS, D. R.; BUENO, O. C.; MORETTI, T. C. Preferência alimentar da formiga urbana *Camponotus vittatus* Forel (Hymenoptera: Formicidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, p. 755-759, 2021.

SOUZA, D.J.; LINO NETO, J.; LUCIA, T.; DELLA, MC; PETERNELLI, E. Ocorrência de poliginia em *Acromyrmex subterraneus molestans* Santschi 1925 (Hymenoptera: Formicidae). **Ciência Rural**, v. 34, p. 1611-1613, 2004.

SOUZA, D. J.; SOARES, I. M. F.; DELLA LUCIA, T. M.C. *Acromyrmex ameliae* sp. n. (Hymenoptera: Formicidae): a new social parasite of leaf-cutting ants in Brazil. **Insect Science**, v. 14, n. 3, p. 251-257, 2007.

SOUZA, A. R. **Regulação da atividade de operárias na vespa eusocial Polistes versicolor (Olivier, 1791) (Hymenoptera, Vespidae)**. 2011. 39f. Dissertação: (Mestrado em Comportamento e Biologia Animal) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, 2011.

SOUZA, R. M.; ANJOS, N. D.; CORDEIRO, G.; MOURÃO, S. A. Primeiro registro de *Atta sexdens rubropilosa* forel atacando árvores de nim, *Azadirachta indica* A. Juss. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, p. 729-733, 2021.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. **Estudo dos Insetos**. Tradução da 7.ed. de Borror and Delong's Introduction to the study of insects. 2. Ed. São Paulo: Cengage learning, 2015.

WARD, P. S.; BRADY, S. G.; FISHER B. L.; SCHULTZ, T. R. The evolution of myrmicine ants: phylogeny and biogeography of a hyperdiverse ant clade (Hymenoptera: Formicidae). **Systematic Entomology**, v. 40, n.1, p. 61-81, 2015.

WILSON, E. O. HÖLLDOBLER, B. The rise of the ants: a phylogenetic and ecological explanation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,** v. 102, n. 21, p. 7411-7414, 2005.

WILSON, E. O. **The insect societies.** Cambridge, Massachusetts, USA, Harvard University Press Distributed by Oxford University Press, 1971.

WILSON, E.O. Causes of ecological success: the case of the ants. **Journal of Animal Ecology**, v. 56, p.1- 9, 1987.

YOKOHARI, F. The coelocapitular sensillum, an antennal hygro-and thermoreceptive sensillum of the honey bee, *Apis mellife*ra L. **Cell and Tissue Research**, v. 233, p. 355-365, 1983.

YOKOHARI, F.; TOMINAGA, Y.; TATEDA, H. Antennal hygroreceptors of the honey bee, *Apis mellifera* L. **Cell and Tissue Research**, v. 226, p. 63-73, 1982.

ZARBIN, P. H. G.; RODRIGUES, M. A. C. M.; LIMA, E. R. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. **Química Nova**. v. 32, n. 3, p. 722-731, 2009.