



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

IAGO MONTEIRO DA COSTA WÄCKER

Variação de traços funcionais em comunidade de formigas ao longo de um gradiente de
urbanização

RECIFE
2025

Iago Monteiro da Costa Wäcker

Variação de traços funcionais em comunidade de formigas ao longo de um gradiente
de urbanização

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de bacharelado em
ciências biológicas da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do título de
bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador (a): Dra Inara Roberta Leal

Coorientador (a): Dra Isabelle Leite de Holanda Silva

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Wäcker, Iago Monteiro da Costa .

Variação de traços funcionais em comunidade de formigas ao longo de um
gradiente de urbanização / Iago Monteiro da Costa Wäcker. - Recife, 2025.
42 : il.

Orientador(a): Inara Roberta Leal

Cooorientador(a): Isabelle Leite de Holanda Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2025.
Inclui referências.

I. Traços funcionais . 2. Urbanização . 3. Formigas. I. Leal, Inara Roberta .
(Orientação). II. Silva , Isabelle Leite de Holanda . (Coorientação). IV. Título.

590 CDD (22.ed.)

Iago Monteiro Da Costa Wäcker

Variação de traços funcionais em comunidade de formigas ao longo de um gradiente de urbanização

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso bacharelado de ciências biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 23/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Dra. Isabelle Leite de Holanda Silva

Universidade Federal de Pernambuco

Mestre Daniel Siqueira De Vasconcelos

Universidade Federal de Pernambuco

Mestre Lucas Matheus Nascimento Silva

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, em especial aos meus pais e a minha tia, pelo apoio e incentivo a minha vida e ao meu ingresso à universidade. Em seguida gostaria de agradecer aos meus amigos que fiz dentro do curso e que me ajudaram muito quanto a questão social e ao meio acadêmico dentro da universidade, em especial Matheus Vinícius Maciel de Lima e Leonardo Gabriel Cabral de Melo Souza. Também gostaria de agradecer a Inara Roberta Leal, minha orientadora, por me dar a oportunidade de poder trabalhar no laboratório de interação planta-animal (LIPA) que me fez proporcionar conhecer e me aprofundar no mundo da ecologia de formigas e do ambiente que estão inseridos. Dentro do laboratório conheci vários amigos, em especial, Isabelle Leite de Holanda Silva, que me deu oportunidade de trabalhar com formigas em meio urbano e também gostaria de mencionar Luiza Rodrigues Soriano pela ajuda no meu projeto e pela amizade. Fora do meio acadêmico gostaria de agradecer aos meus amigos mais próximos que me alegram e me ensinam os conhecimentos do cotidiano. Para finalizar gostaria de agradecer a mim mesmo, por não ter desistido de mim mesmo e de sempre estar forte nos momentos mais difíceis.

RESUMO

As formigas desempenham papéis ecológicos fundamentais nos serviços ecossistêmicos e, além disso, são seres sociais de ampla distribuição geográfica. Sua presença em diversos locais, combinada com sua característica ectotérmica, as tornam excelentes bioindicadoras ambientais, tornando esses animais ideais para estudos sobre os efeitos da urbanização na vida natural dos organismos. A urbanização constitui-se como uma modificação no ecossistema feita pelo homem e que interfere diretamente na vida de inúmeras espécies. A intensificação desse processo vem afetando vários habitats de espécies endêmicas, tornando esses espaços inóspitos para adaptação de grande parte dos animais. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi verificar se as formigas apresentaram modificações nos traços funcionais, traços fisiológicos e traços morfológicos, ao longo de um gradiente de urbanização. A hipótese inicial era de que as formigas que vivem em áreas mais urbanizadas apresentam uma tolerância térmica maior e traços morfológicos menores. Para testar a hipótese foram coletadas na cidade do Recife, capital de Pernambuco, sete espécies de formigas e onze indivíduos por espécie, em cada área de coleta, ao todo são quinze áreas de coleta. As coletas ocorreram de forma manual e ativa com auxílio de Eppendorfs e as medições dos traços fisiológico e morfológicos foram feitas em laboratório. Os resultados verificaram que as formigas não apresentaram resposta significativa quanto à tolerância térmica máxima e quanto aos traços morfológicos, portanto, as análises das sete espécies em conjunto não resultaram em respostas significativas. Entretanto, nas análises individuais foi verificada uma alteração nos tamanhos da perna e mandíbula da espécie *Atta sexdens*.

PALAVRAS-CHAVE: Formicidae; Recife; diversidade funcional; Antropização.

ABSTRACT

Ants play fundamental ecological roles in ecosystem services and, moreover, are social organisms with a wide geographical distribution. Their presence in various locations, combined with their ectothermic nature, makes them excellent environmental bioindicators, thus ideal organisms for studying the effects of urbanization on the natural lives of other organisms. Urbanization constitutes a human-made modification of the ecosystem that directly interferes with the lives of countless species. The intensification of this process has been affecting the habitats of many endemic species, rendering these areas inhospitable for the adaptation of a large portion of animals. In this context, the aim of this research was to investigate whether ants exhibited changes in functional traits, physiological traits, and morphological traits along an urbanization gradient. The initial hypothesis was that ants living in more urbanized areas would show higher thermal tolerance and smaller morphological traits. To test this hypothesis, seven ant species were collected in the city of Recife, capital of Pernambuco, with eleven individuals per species collected in each sampling area, totaling fifteen collection sites. The ants were collected manually and actively using Eppendorf tubes, and the measurements of physiological and morphological traits were carried out in the laboratory. The results showed that the ants did not exhibit significant responses in terms of maximum thermal tolerance or morphological traits. Therefore, the analysis of the seven species together did not yield significant results. However, individual analyses revealed changes in leg and mandible sizes in the species *Atta sexdens*.

KEYWORDS: Formicidae; Recife; Functional diversity; Anthropization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Mapa do gradiente urbano	20
Figura 2 –	Espécies de formigas urbanas	21
Figura 3 –	Foto frontal da cabeça da <i>Atta sexdens</i>	23
Figura 4 –	Foto da lateral da cabeça da <i>Atta sexdens</i>	24
Figura 5 –	Foto da lateral do corpo, com foco do terceiro par de perna da <i>Atta sexdens</i>	25
Figura 6 –	Gráfico dos resultados dos atributos morfológicos	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Comprimento da antena
CC	Comprimento da cabeça
CCL	Comprimento do clípeo
CF	Comprimento do fêmur
CM	Comprimento da mandíbula
CO	Comprimento do olho
CT	Comprimento da tíbia
CTMax	Temperatura crítica máxima
DO	Distância entre os olhos
LC	Largura da cabeça
LO	Largura do olho

SUMÁRIO

1) INTRODUÇÃO.....	10
2) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1) Urbanização.....	12
2.2) Traços funcionais.....	13
2.3) Formigas como modelo de estudo.....	15
2.4) Espécies de formigas focais.....	17
3) OBJETIVO E PREDIÇÃO.....	18
4) METODOLOGIA.....	19
4.1) Área de estudo.....	19
4.2) Procedimento experimental.....	21
4.2.1) Tolerância térmica máxima.....	21
4.2.2) Variações morfológicas.....	22
4.3) Análise de dados.....	25
5) RESULTADOS.....	26
6) DISCUSSÃO.....	27
7) CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS.....	31

1) INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos os seres humanos estão modificando os ecossistemas, fragmentando o habitat, alterando os gradientes ambientais e reduzindo os recursos usados para as comunidades biológicas (Curtis et al., 2018). Vários impactos das mudanças no habitat dos organismos e a modificação dos ecossistemas são bastante conhecidos, contudo é dada menos atenção aos processos subentendidos da regulação da dinâmica da população e a estruturação da comunidade (Okie e Brown, 2009). Entender como as populações e comunidades se organizam frente a alterações antrópicas, refletindo no forrageamento, comportamento, escolhas de habitat e preferências alimentares, pode ser elucidado com análises dos traços funcionais (Dehling et al., 2016; Pigot et al., 2020). Os traços funcionais integram uma pluralidade de atributos fisiológicos, morfológicos, bioquímicos e comportamentais que faz com que os organismos respondam a mudanças ambientais (Tilman et al., 2001). Além de que, estes traços funcionais atuam como indicadores ambientais essenciais para sobrevivência do organismo, apresentando elucidações sobre as dimensões do nicho ecológico relevantes para as espécies ou comunidades específicas (Kearney et al., 2010; Pigot et al., 2016).

As áreas urbanas representam uma das paisagens mais modificadas pela atividade humana, caracterizada por uma falta de habitat naturais e uma vasta infraestrutura (Week, 2010). Estas modificações relacionadas com o desenvolvimento urbano podem suceder em alterações nos padrões de biodiversidade e proporcionar a homogeneização biótica, também pode afetar a distribuição dos traços funcionais em transição de ambiente natural para ambientes urbanizados (Groffman et al., 2014). A expansão acelerada da urbanização cria cenários adequados para manifestação das respostas fenotípicas, que podem levar à seleção natural (Diamond et al., 2018; Diamond e Martin, 2020; Levis et al., 2016). Nessa situação as formigas e outros organismos são ótimos modelos de estudo de como os traços funcionais respondem à urbanização, já que a morfologia, fisiologia e comportamento estão ligados às condições ambientais (Menke et al., 2011). Além do mais, estudos anteriores se concentram no impacto que a urbanização faz sobre a comunidade de formigas (Liu et al., 2019; Uno et al., 2010), ainda é possível que os processos ecossistêmicos continuem pouco afetados pelas mudanças à

biodiversidade (Naomi & Wright, 2003). Assim sendo é fundamental aferir os traços funcionais nesse contexto.

Uma das mudanças ambientais que afeta diretamente os traços funcionais das formigas é a elevação da temperatura local dentro das áreas urbanas. Dessa maneira, entender a ecologia térmica das espécies é essencial para entender como ocorrerá a distribuição dos organismos e como o funcionamento dos ecossistemas serão modificados em resposta às mudanças ambientais (Arnan & Blüthgen, 2015; Arna; Deutsch et al., 2008). A urbanização leva ao efeito de ilha de calor urbana, onde as cidades mostram um aumento significativo na temperatura por causa da substituição direta ou parcial da vegetação natural para a impermeabilização do solo por asfalto ou concreto (Grimmond, 2007; Oke, 1982; Arnfield, 2003). O aumento da temperatura tem consequências significativas para as formigas, pois são espécies ectotérmicas, cuja fisiologia é muito sensível ao ambiente térmico (Angilletta, 2009). Um dos principais traços fisiológicos que são afetados pela urbanização é a temperatura crítica máxima (CTMax), que é a temperatura máxima onde o organismo experimenta espasmos da musculatura ou a morte (Sinclair et al., 2016). Estes limites térmicos são essenciais para moldar a distribuição e a abundância das espécies em escalas regionais e locais (Kearney & Porter, 2009; Arnan & Blüthgen, 2015; Gardner et al., 2019). À proporção que as áreas urbanas aquecem, as espécies menores e tolerantes ao calor, abrangendo formigas generalistas e invasoras, podem se desenvolver, enquanto as espécies nativas e especializadas sofrem riscos de migração ou declínio da população (Diamond et al., 2012). Além de que, as populações urbanas de formigas *Temnothorax curvispinosus* (Myrmicinae) apresentam uma velocidade de corrida acelerada e taxa metabólica mais alta do que suas contrapartes rurais, indicando adaptações ao clima urbano mais quente (Yilmaz et al., 2019). Estas formigas que vivem em ambiente urbano também demonstram maior plasticidade térmica, como indivíduos que toleram temperaturas de CTMax mais altas que formigas que vivem em ambiente rural (Diamond et al., 2018). O aumento da tolerância térmica espelha padrões mais amplo nas comunidade de formigas, onde as diferenças na capacidade das espécies de lidar com o calor lhe permite explorar diferentes condições térmicas dentro do seu habitat (Cerdá et al., 1997, 1998; Bestelmeyer, 2000; Lessard et al., 2009).

Além das adaptações fisiológicas, a urbanização influencia os traços morfológicos das formigas. Estudos mostram que nem todas as espécies são

afetadas igualmente pela urbanização em termos de traços morfológicos. Enquanto alguns estudos mostram que as formigas com o tamanho corporal maior podem se adaptar a ambientes urbanos mais hostis e conseguem tolerar uma maior temperatura (Peng et al., 2020; Rajesh et al., 2022; Renata e Cerdá, 2000), outras pesquisas indicam que formigas com tamanho corporal menor também tendem a prosperar em áreas muito urbanas (Bolger et al., 2000; Egerer et al., 2017). Além do mais, traços morfológicos como comprimento da perna também podem ser influenciados pelas condições urbanas, visto que pernas mais longas ajudam para uma maior mobilidade (Weiser & Kaspari, 1999) e auxiliam as formigas a manter o corpo afastado das superfícies quentes do ambiente urbanizado durante o momento de forrageamento, se protegendo do calor (Yilmaz et al., 2019).

Neste estudo avaliamos os traços funcionais das formigas, em especial os traços fisiológicos e morfológicos, à intensidade da urbanização na Região Metropolitana do Recife, na região Nordeste do Brasil. Nossa hipótese é que com o aumento da intensidade da urbanização altera tanto os traços fisiológico (temperatura crítica máxima) quanto os traços morfológicos (comprimento das pernas, comprimento e largura da cabeça, distância entre os olhos, comprimento do clípeo, comprimento da mandíbula, comprimento do escapo, comprimento e largura dos olhos) como resultado de respostas plásticas às alterações do habitat e as flutuações de temperatura que estão associadas ao desenvolvimento urbano.

2) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1) Urbanização

A urbanização é uma enorme modificação feita pelos humanos que interferem nos ecossistemas e paisagens mundiais (Gippet., 2016). A ação antrópica alterou o meio ambiente do mundo e causou mudanças bruscas e difundidas na distribuição e funcionalidade dos seres vivos (Chapin et al., 2000). As ameaças primárias em cima da conservação em quaisquer ecossistemas são as mudanças climáticas e a perturbação do homem no mundo (Sala et al., 2000). A perturbação antrópica destrói o habitat de inúmeras espécies endêmicas e podem criar habitat que poucas

espécies de animais consigam se adaptar para viver (McKinney e ML Lockwood 1991). Segundo Diamond (2012) a remoção da vegetação e a substituição por superfícies impermeáveis não apenas causam a perda e a fragmentação dos habitats, mas também modificam as propriedades físicas do solo, como a condutividade térmica e a emissividade, além de diminuir o resfriamento evaporativo.

De acordo com Dunn e colaboradores (2009) e Kaspari e colaboradores (2000), fatores climáticos como temperatura e precipitação exercem influência significativa sobre a dinâmica e o funcionamento das comunidades de formigas. Entretanto, além desses fatores, a atividade humana, hoje, também é uma das principais fontes de perturbação dessas comunidades. De acordo com Andersen (2018), os impactos decorrentes da ação antrópica afetam diretamente o habitat dos insetos, devido à vulnerabilidade destes organismos. E em resposta a essas alterações ambientais, as formigas podem adotar mecanismos adaptativos para sobreviver em ambientes modificados. Um exemplo citado por Gibb et al. (2018) é a modificação no tamanho corporal como estratégia de adaptação.

2.2) Traços funcionais

Os traços funcionais são atributos fenotípicos mensuráveis dos organismos que influenciam diretamente seu desempenho ecológico e seu papel dentro dos ecossistemas. Em invertebrados, particularmente em formigas (Hymenoptera: Formicidae), esses traços englobam características morfológicas, fisiológicas e comportamentais que determinam como as espécies interagem com o ambiente e com outras espécies. A análise desses traços permite identificar padrões ecológicos universais, oferecendo uma base teórica sólida para compreender as respostas das formigas a gradientes ambientais e seus impactos nos processos ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes, fluxo de energia e resiliência a distúrbios (Violle et al., 2007). A seleção dos traços mais relevantes deve considerar o contexto ecológico e as hipóteses investigadas, o que é fundamental para a correta interpretação dos dados (McGill et al., 2006). Embora promissora, a abordagem funcional ainda enfrenta desafios metodológicos relacionados à escolha, padronização e integração dos traços em diferentes níveis organizacionais.

Os traços fisiológicos em formigas referem-se a propriedades internas e bioquímicas que regulam processos vitais, como metabolismo energético, tolerância térmica, balanço hídrico, resistência à dessecação e atividade hormonal. Como ectotérmicas, as formigas dependem diretamente do ambiente para a regulação térmica, o que faz com que esses traços fisiológicos sejam determinantes para sua sobrevivência, distribuição e desempenho funcional. Por exemplo, espécies adaptadas a ambientes áridos geralmente apresentam maior resistência à perda de água e maior tolerância ao calor, enquanto espécies de habitats úmidos exibem características fisiológicas que as favorecem nesses microclimas (Chown; Nicholson, 2004; Rozen-Rechels et al., 2019). A mensuração desses traços é complexa, demandando equipamentos especializados como câmaras de respirometria e análises bioquímicas, o que limita sua aplicação em estudos de campo e em larga escala (Parr et al., 2017). Contudo, avanços em técnicas não invasivas e moleculares vêm ampliando a possibilidade de integrar traços fisiológicos em estudos funcionais, permitindo uma visão mais abrangente da ecologia das formigas (Parr et al., 2017).

Os traços morfológicos compreendem características estruturais dos organismos, como tamanho corporal, proporção dos membros, morfologia das mandíbulas, comprimento das antenas e dimensões de outros órgãos sensoriais. Em formigas, esses traços são amplamente utilizados como proxies funcionais, pois influenciam diretamente a locomoção, forrageamento, alimentação, defesa e a exploração do micro-habitat. Por exemplo, o tamanho corporal pode determinar a capacidade térmica e a competitividade, enquanto a forma e o tamanho das mandíbulas indicam diferentes estratégias alimentares, como predação ou coleta de sementes. A morfologia também reflete especializações funcionais das castas dentro da colônia (Bolton, 1994; Silvestre et al., 2020). A popularidade dos traços morfológicos em estudos ecológicos deve-se à sua facilidade de obtenção a partir de espécimes preservados, fotografias ou observação direta, além de sua alta correlação com outras dimensões funcionais (Brandl; Robbins; Bellwood, 2015; Parr et al., 2017). Ainda que a morfologia sozinha possa não capturar todas as funções desempenhadas, esses traços são ferramentas essenciais para a compreensão da estrutura funcional e diversidade das comunidades de formigas, especialmente em áreas pouco estudadas (Gordon, 2010).

2.3) Formigas como modelo de estudo

As formigas (Formicidae) são insetos sociais pertencentes à ordem Hymenoptera, que apresentam ampla distribuição geográfica e elevada diversidade, com mais de 14 mil espécies descritas em todo o mundo (Fernandes; Del-claro, 2005). Estão presentes em praticamente todos os ambientes terrestres, com exceção de regiões polares, e exercem papel fundamental na dinâmica dos ecossistemas. Sua organização social complexa, comportamento cooperativo e ampla plasticidade ecológica permitem que desempenhem diferentes funções ecológicas, como predadoras, dispersoras de sementes, polinizadores e recicladoras de matéria orgânica (Wilson, 2003). A importância ecológica das formigas é reforçada pela variedade de interações que estabelecem com outros organismos. Muitas espécies mantêm relações mutualísticas com plantas, por meio do uso de nectários extraflorais, e com fungos, no caso das formigas cultivadoras (Höllderberg; Wilson, 1990). Além disso, algumas espécies apresentam comportamentos agressivos e são dominantes em determinadas comunidades, o que influencia diretamente a composição da fauna local (Delabie et al., 2000).

São organismos excelentes para as pesquisas de monitoramento do ambiente por causa da sua abundância, sua diversidade de espécies e a presença em ambientes urbanos e rurais (Koch & Vohland, 2008). Além do mais, ocupam uma grande variedade alimentar, tanto no solo quanto na vegetação, o que mostra uma alta diversidade no local regularmente superior a outras espécies de insetos (Höllderberg & Wilson, 1990). O potencial de bioindicação ambiental das formigas está sendo cada vez mais reconhecido, se tornando uma ferramenta valiosa para gestores ambientais na avaliação das condições dos ecossistemas (Underwood & Fisher, 2006). Adicionalmente, as formigas desempenham um papel importante nos ecossistemas, colaborando para a ciclagem de nutrientes, a estruturação do solo e a manutenção da composição vegetal (Del toro et al., 2012). Além de que, são ótimos provedores de serviços ecossistêmicos como dispersão de semente, proteção anti-herbivoria e aeração do solo (Leal et al., 2003).

A despeito de sua importância, as formigas em meio urbanizado têm recebido pouca atenção, representando 3,6% de todas as publicações sobre formigas (Santos, 2016). Contudo, os estudos presentes apresentam hipóteses relevantes e fornecem consequências importantes para o entendimento da ecologia dos sistemas urbanos, alegando o interesse no papel das formigas nas cidades, edificações e áreas verdes (Yamaguchi, 2005). Os estudos sobre formigas urbanas englobam uma variação de temas dentro da ecologia e da biodiversidade, analisando a diversidade, riqueza e a composição de espécies, como fatores abióticos e bióticos (Espadaler & López-soria, 1991). Além disso, muitos estudos focam em formigas como nativas, exóticas e invasoras (Oi et al., 1994; Buczwoski & Bennett, 2006), como no desenvolvimento e testes da metodologia química e biológica para o controle e manejo das espécies (Gusmão et al., 2011). Ademais, as formigas urbanas também apresentam relevância em esferas sociais e econômicas. Na sociedade, as interações entre humanos, animais e plantas têm disso evidente, principalmente com estudos de saúde pública, uma vez que formigas ocupam os mesmos espaços físicos dos seres humanos (Pesquero et al., 2008). Na presença econômica, vários estudos com foco de controle de formigas pragas e com ênfases de produtos químicos (Klotz et al., 2010). Na ecologia as pesquisas demonstram, por exemplo, a permanência das formigas nativas nos ecossistemas urbanos e relacionado com nível de perturbação antrópica (Lessard & Buddle, 2005).

A diversidade funcional das espécies também pode influenciar nas respostas à perturbação, podendo ser uma ferramenta para entender os impactos da urbanização. Se baseando na classificação nos grupos funcionais das formigas (Leal et al., 2012): as espécies generalistas conseguem ter uma capacidade maior de colonizar pequenas áreas urbanas, pois possuem dieta variada, e conseguem tolerar diferentes condições ambientais. Por outro lado, formigas mais especializadas, como predadoras específicas, são aquelas que se adaptam a condições adversas, tendem a ser mais sensíveis à perturbação, porque possuem menor flexibilidade ecológica. Este padrão reflete em uma tendência de diversos grupos de animais, onde ambientes mais degradados favorecem espécies oportunistas e comuns em prejuízo das raras e especialistas. Embora as mudanças sejam claras na composição de formigas urbanas (Lessard & Buddle, 2005;), ainda há pouco conhecimento sobre estes insetos nos espaços verdes dentro das cidades. Dada sua diversidade ecológica e as interações com o ambiente, as formigas representam um modelo

excelente para a avaliação dos impactos da urbanização em cima da biodiversidade e para o monitoramento da fauna em paisagens modificadas.

2.4) Espécies de formigas focais

Atta sexdens, popularmente conhecida como saúva, ocorre em países da América do Sul e Centrais (ANTWEB, 2025). Essa espécie cultiva fungos em seus ninhos, os quais constituem a principal fonte de alimento para operárias e larvas (Bigi et al., 2004). Além disso, *A. sexdens* pode atuar tanto como predadora quanto como dispersora de sementes, dependendo da espécie vegetal envolvida (Leal et al., 2014).

Ectatomma muticum possui distribuição restrita ao território brasileiro (ANTWEB, 2025). Esta espécie utiliza nectários extraflorais como fonte de alimento, recurso amplamente explorado por formigas (Souza, 2021). Durante a alimentação noturna nesses nectários, *E. muticum* também atua na defesa das plantas contra herbívoros (Leal et al., 2018).

Odontomachus bauri é encontrada em países da América do Sul e Centrais (ANTWEB, 2025). Trata-se de uma espécie predadora, caracterizada por mandíbulas longas e com alto poder de impacto, utilizadas na captura de presas como moscas (Moleiro et al., 2025). *O. bauri* forrageia principalmente durante os períodos mais quentes do dia, especialmente em solos de plantações de eucalipto, sendo registrada também em atividades de dispersão de sementes na Mata Atlântica (Amaral et al., 2013; 2017).

Pheidole radoszkowskii também ocorre em países da América do Sul e América Central (ANTWEB, 2025). Essa espécie é considerada onívora, alimentando-se de insetos, sementes e matéria orgânica em decomposição.

Pseudomyrmex gracilis possui ampla distribuição, estendendo-se da América do Sul à América do Norte (ANTWEB, 2025). Assim como outras espécies, utiliza nectários extraflorais como fonte alimentar (Souza, 2021). Apresenta comportamento arbóreo, com capacidade de nidificação em dosséis e forrageamento na serapilheira (Gomes et al., 2013).

Solenopsis invicta, com distribuição desde a América do Sul até a América do Norte, também ocorre no continente asiático (ANTWEB, 2025). Alimenta-se de nectários extraflorais (Souza, 2021), sendo comum, na caatinga, a nidificação no solo antes da ascensão às plantas (Leal et al., 2018).

Por fim, *Tapinoma melanocephalum* apresenta distribuição cosmopolita, estando presente em todos os continentes, exceto na Antártica (ANTWEB, 2025). Esta é uma espécie onívora, com dieta baseada em proteínas e açúcares. No entanto, não foram encontradas referências bibliográficas que remetam serviços ecossistêmicos prestados por *T. melanocephalum*.

3) OBJETIVO E PREDIÇÃO

O objetivo geral do estudo foi avaliar os traços funcionais: Tolerância térmica máxima e variações dos atributos morfológicos, das formigas coletadas em um gradiente de urbanização pré estabelecido na malha urbana de Recife, Pernambuco. Nossa hipótese pressupõe que as formigas coletadas nas áreas mais urbanas do gradiente, possuem uma maior tolerância térmica e menores dimensões de estruturas morfológicas, com exceção do comprimento da mandíbula e do clipeo (eg.: mandíbulas e clipeos maiores pois são traços associados a perda de umidade), pois são áreas mais quentes devido a maior porcentagem de superfície impermeável (estruturas de concreto). As predições são que as formigas das áreas mais urbanizadas apresentam uma tolerância térmica máxima maior que as formigas das áreas menos urbanizadas. Como objetivo específico temos, as medições e comparações de comunidades de formigas em diferentes pontos do gradiente de urbanização e identificando possíveis fatores determinantes de como os traços funcionais interferem nas formigas que vivem em áreas urbanas. Da mesma forma, investigar como a urbanização influencia na variação dos traços fisiológicos e morfológicos nas comunidades de formigas na cidade do Recife, PE.

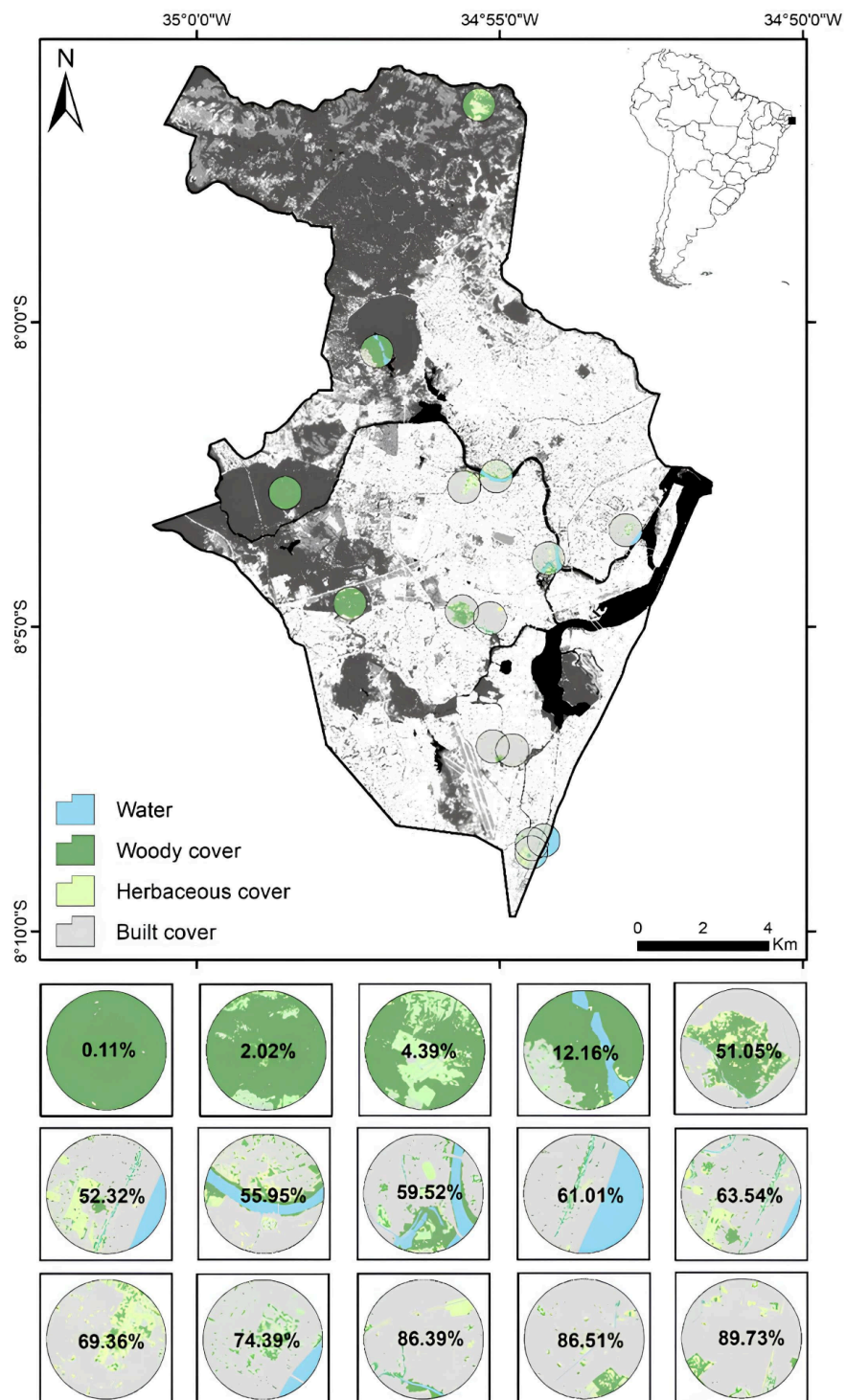
4) METODOLOGIA

4.1) Área de estudo

O presente estudo foi realizado na cidade do Recife (8° 04' 03" s, 34° 55' 00" w). Possui uma área de 218,8 km², com população estimada em 1.653.461 habitantes e uma densidade demográfica de 7.039,64 de habitantes por quilômetro quadrado. O clima é tropical-úmido, com altitudes médias de 4 metros acima do nível do mar (Prefeitura do Recife. Portal do Recife. Disponível em: <<https://www.Recife.pe.gov.br/>>. Acesso em: 08/jun/2025) e possui uma temperatura anual média de 23°C a 31°C.

Para determinar o gradiente urbano dentro da malha urbana de Recife, utilizamos a ferramenta basemap do software ArcGIS 10.6. Foram identificadas regiões impermeáveis, regiões de edifícios e regiões de zona rural. A partir desses dados, foi realizado o mapeamento da cobertura do solo da região urbana a partir de uma classificação supervisionada de imagens do satélite PlanetScope com 3m de resolução utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança (MaxVer) no software ArcGIS 10.6. Foram reconhecidas vegetações herbácea, lenhosa e cobertura urbana. Posteriormente, foi elaborado um mapa com a cobertura do solo da malha urbana da cidade de Recife. Sobre esse mapa, foi sobreposto um grid com células de 1 km² cobrindo toda a área urbana contínua da cidade. Em cada célula foi definido um ponto (156 pontos no total) com buffer de 50 metros de raio, dentro do qual foi calculada a porcentagem de cobertura urbana, possibilitando a construção do gradiente urbano. A partir desse gradiente, foram selecionados aleatoriamente 15 pontos com diferentes porcentagens de área urbana para a coleta de sete espécies de formigas. As coletas ocorreram entre janeiro a agosto de 2023.

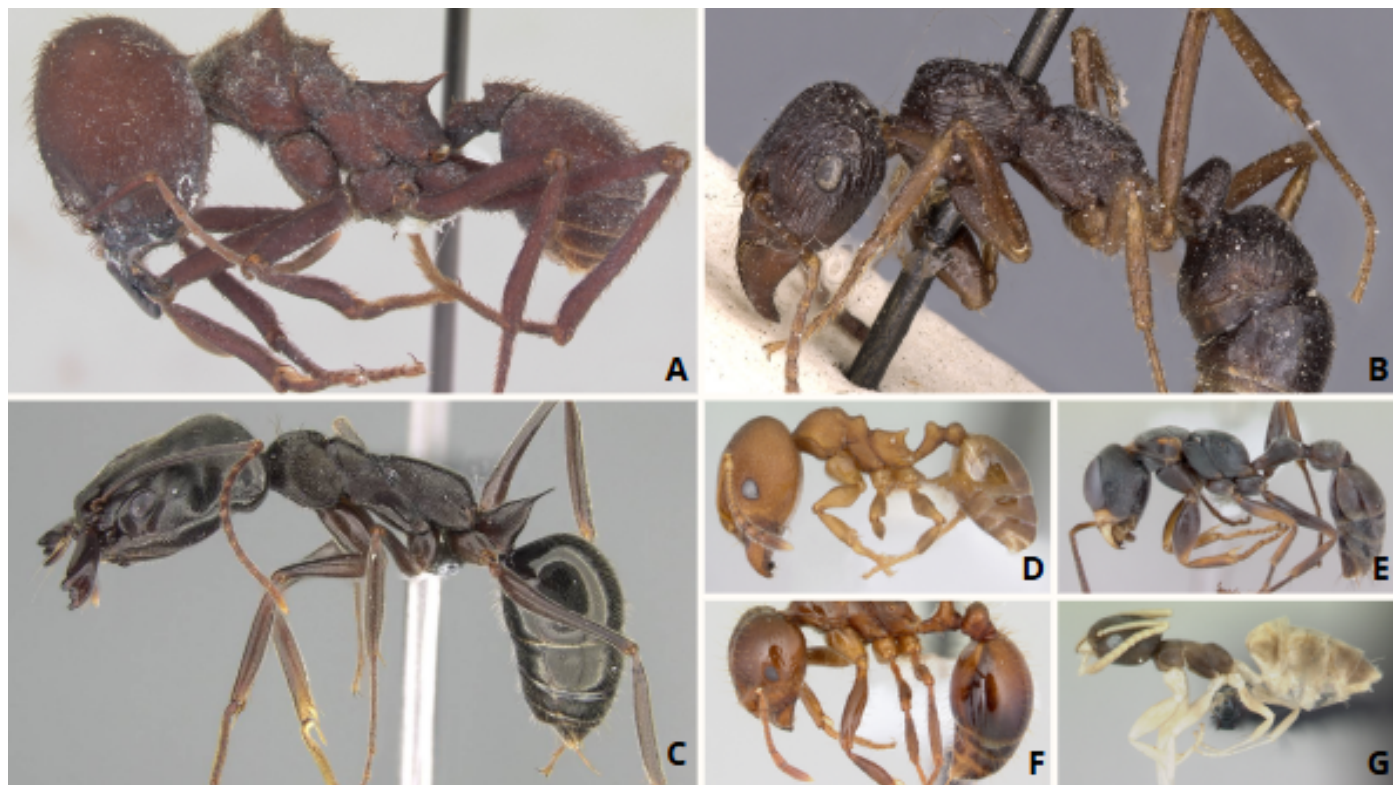
Figura 1 - Mapa do gradiente urbano



Fonte: João Pena (2025)

Mapa de cobertura do solo do Recife (Pernambuco, Brasil) destacando com bolhas os locais onde o estudo foi desenvolvido. Linha preta: limite político da cidade; verde escuro: cobertura arborizada; verde claro: cobertura herbácea; cinza: cobertura urbana; azul: hidrografia.

Figura 2 - Espécies de formigas urbanas



Fonte: Antweb (2025)

Espécies de formigas comumente encontradas em ambientes urbanos.

(A)*Atta sexdens*, (B)*Ectatomma muticum*, (C)*Odontomachus bauri*, (D)*Pheidole radoszkowskii*, (E)*Pseudomyrmex gracilis*, (F)*Solenopsis invicta* e (G)*Tapinoma melanocephalum*.

4.2) Procedimento experimental

4.2.1) Tolerância térmica máxima

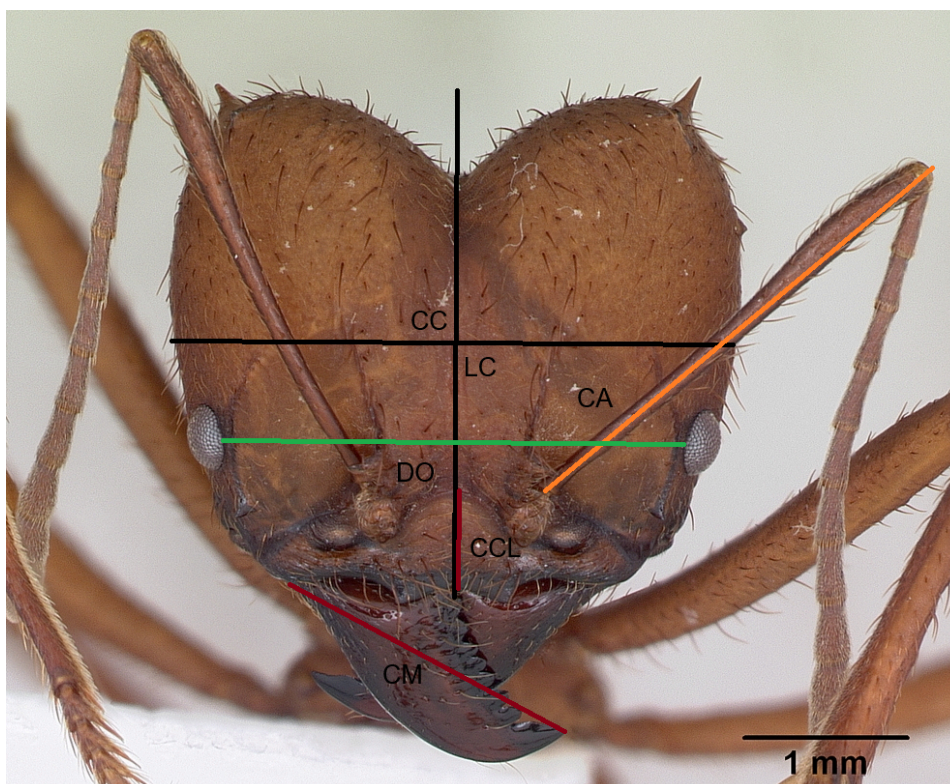
As coletas ocorreram na parte da manhã (9 - 12h), por meio de coleta ativa manual dos indivíduos em campo. Foram coletados 10 indivíduos por espécie (mais um indivíduo controle) de 7 espécies diferentes (*Atta sexdens*, *Ectatomma muticum*, *Pheidole radoszkowskii*, *Pseudomyrmex gracilis*, *Solenopsis invicta*, *Odontomachus bauri* e *Tapinoma melanocephalum*). As espécies de formigas controle foram coletadas para comprovar que elas continuariam vivendo dentro do tubo de Eppendorf, pois a espécie controle poderia vir a falecer por estresse, do lado de fora

da máquina de tolerância térmica máxima, durante o tempo do experimento. As operárias coletadas foram colocadas vivas em um Eppendorf de 1,5mL e transportadas para o laboratório, respeitando um intervalo máximo de quatro horas entre a coleta, o transporte e o laboratório. Cada Eppendorf ficou aberto e foram tampados com algodão e cerca de 2mL de água. Foi usada a máquina Thermal-Lok 2-Position Dry Heat Bath, para fazer os testes da tolerância térmica. No mesmo dia da coleta, cada operária foi colocada na máquina com temperatura inicial de 30°C com aumento de 1°C a cada três minutos até o indivíduo perder a capacidade locomotora ou ir a óbito. Ao fim de cada ciclo foram analisados individualmente os indivíduos para ter certeza que estariam vivos ou já morreram.

4.2.2) Variações morfológicas

As medições corporais das formigas ocorreram posteriormente à medição da tolerância térmica. Foram feitas dez medidas em diferentes partes do corpo, sendo elas: (1) comprimento das pernas, comprimento do fêmur (Cf) somado ao comprimento da tíbia (Ct) e (2) tamanho da cabeça, comprimento da cabeça (Cc) e largura da cabeça (Lc). Ambos os traços nos dão uma informação sobre como as formigas se adaptam para fazer estratégias de forrageamento e estes pontos estão relacionados ao conseguir se deslocar entre ambientes (Arnan et al. 2015). (3) (Cm comprimento da mandíbula (Cm) e (4) Cc comprimento do clipeo (Ccl) estão relacionados em questão de perda e retenção de líquidos (Weiser & Kaspari, 2006). (5) comprimento do antena (Ca) e (6) tamanho dos olhos comprimento e largura do olho (Co e Lo) ambos os pontos estão relacionados às questões sensoriais, como a perceber o ambiente em que está situado (Weiser & Kaspari, 2006). O último ponto (7) distância entre os olhos (Do) está relacionado com a predação, pois com a distância entre os olhos maior, maior é o campo de visão para predação (Fowler et al. 1991).

Figura 3 - Foto frontal da cabeça da *Atta sexdens*



Fonte: Antweb (2025).

Atributos morfológicos mensurados nas espécies urbanas.

Visão frontal da *Atta sexdens*

(CC: Comprimento da cabeça; LC: Largura da cabeça; CCL: Comprimento do clipeo; CM: Comprimento da mandíbula; CA: Comprimento da antena; DO: Distancia entre os olhos).

Figura 4 - Foto da lateral da cabeça da *Atta sexdens*.



Fonte: Do autor (2025).

Atributos morfológicos mensurados nas espécies urbanas.

Foto da lateral da cabeça da *Atta sexdens* com enfoque no CO: comprimento do olho e LO: largura do olho.

Figura 5 - Foto da parte lateral do corpo, com foco no terceiro par de perna da *Atta sexdens*.



Fonte: Do autor (2025).

Atributos morfológicos mensurados nas espécies urbanas.

Foto de perfil com foco no terceiro par de pernas da *Atta sexdens* para poder visualizar a CF: comprimento do fêmur e CT: comprimento da tíbia.

4.3) Análise de dados

Foram usados modelos mistos lineares generalizados (GLMMs) com distribuição de erro Gaussiana para investigar se as características funcionais (sendo eles a tolerância térmica máxima e variações morfológicas) variam em função da intensidade urbana. As análises foram feitas isoladamente para cada espécie e, posteriormente, somando-se todas elas. O local e as espécies, coletivamente, foram incluídos como efeito aleatório para levar em conta as repetições e medições de indivíduos. As variáveis de resposta dos traços funcionais foram log-transformadas com o intuito de satisfazer os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias (homocedasticidade) exigidos pelos Modelos Mistos Lineares Generalizados. R core team (2022). R: A language and Environment for Statistical Computing. R Foundation, Vienna, Austria. Os GLMMs foram realizados usando o pacote *lme4*; Bates et al., 2020.

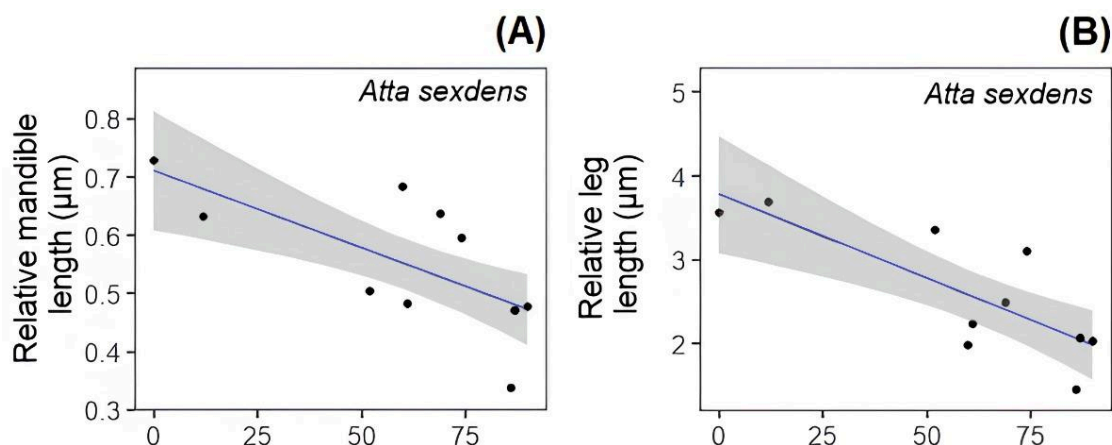
5) RESULTADOS

Foram coletados 1.155 indivíduos das 7 espécies estudadas dentro da malha urbana de Recife (PE). A espécie *Pheidole radoszkowskii* foi a espécie responsável pelos valores de menor e maior tolerância térmica máxima, de 32°C e 62°C, respectivamente, e a espécies com maior amplitude térmica entre 32°C a 62°C. Em seguida tem a *Tapinoma melanocephalum* com amplitude térmica de 39°C a 61°C, seguida de *Solenopsis invicta* com uma amplitude térmica de 36°C a 54°C, em sequência tem a *Atta sexdens* com a variação térmica de 36°C a 50°C, a *Pseudomyrmex gracilis* possui uma amplitude térmica de 40°C a 51°C e *Ectatomma muticum* possui uma amplitude térmica de 41°C e 47°C. Por fim a *Odontomachus bauri* tem uma amplitude térmica de 42°C a 46°C.

Quanto às medidas morfológicas naturais das espécies, a *Atta sexdens* apresentou um aumento de duas vezes do comprimento das pernas comparada à da *Tapinoma melanocephalum*. A *Atta sexdens* apresentou um aumento de cinco vezes do comprimento da cabeça comparada a *Solenopsis invicta*. Outra vez a *Atta sexdens* apresentou um aumento de cinco vezes comparada a *Solenopsis invicta* que dessa vez foi aos comprimentos dos olhos. Na apresentação do clipeo a *Pheidole radoszkowskii* apresentou um aumento de quase quatro vezes a mais que a *Odontomachus bauri*. A mandíbula, parte do corpo com a maior diferença vista, cerca de dez vezes maior entre a espécie *Pheidole radoszkowskii* e a *Ectatomma muticum*. Por fim, a variação mais sucinta foi entre *Atta sexdens* e a *Tapinoma melanocephalum* com uma diferença de 1,5 vezes maior na questão da antena.

Contudo, não foram encontrados evidências significativas quanto a variações na tolerância térmica, nem nos atributos morfológicos, quando as análises foram feitas em conjunto de todas as sete espécies. Porém quanto a análise individual das espécies, uma das sete espécies apresentou resultado significativo ao longo de um gradiente de urbanização. A única exceção foi o tamanho das pernas e o tamanho da mandíbula que diminui conforme aumenta a intensidade urbana na espécie *Atta sexdens*.

Figura 6 - Gráfico dos resultados dos estudos dos atributos morfológicos.



Fonte: Diego Centeno (2025).

Efeitos significativos da intensidade da urbanização no comprimento relativo da mandíbula (A) e no comprimento das pernas (B) de *Atta sexdens*, o eixo X é a porcentagem de urbanização do Recife, na capital Pernambucana. Os pontos na coloração preta representam valores médios por cada local que foi amostrado, a linha preta no centro indica o ajuste ao modelo. A área sombreada indica o intervalo de confiança de 95% da estimativa do modelo.

6) DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, analisamos se a intensidade da urbanização influencia a tolerância térmica máxima e os atributos morfológicos das sete espécies de formigas coletadas (*Atta sexdens*, *Pheidole radoszkowskii*, *Solenopsis invicta*, *Odontomachus bauri*, *Ectatomma muticum*, *Tapinoma melanocephalum* e *Pseudomyrmex gracilis*) na região Metropolitana da cidade de Recife. As nossas hipóteses eram que as formigas operárias apresentavam um menor tamanho corporal e uma maior tolerância térmica, ajudando na sobrevivência em áreas urbanizadas (Howard, 1833).

Nossos achados conferem com estudos prévios que mostram que as condições ambientais em áreas urbanas, principalmente a temperatura, influenciam a variação de traços funcionais em formigas (Verble-Pearson et al., 2015; Nascimento et al., 2022, 2024). A título de exemplo, foi observado que formigas em ambiente urbano apresentam plasticidade fenotípica significativa para poder se adaptar a condições com temperatura elevadas (Arnfield, 2003; Diamond et al., 2018; Diamond & Martin, 2020; Levis & Pfennig, 2016), especialmente espécies generalistas e invasoras como *Solenopsis invicta* (Allen et al., 1994). A expectativa de que formigas em áreas urbanas apresentam um menor tamanho corporal, maior

tolerância térmica e outros atributos funcionais, os atributos morfológicos são baseados na ideia que ambientes modificados impõem desafios aos organismos, exigindo respostas adaptativas para tratar com novas condições do ambiente (Chen & Neoh, 2023).

Nesta situação, as condições climáticas e os recursos disponíveis podem se diferenciar significativamente dos habitats naturais, influenciando a plasticidade e diversidade das espécies (Angilletta et al., 2007; Dunn et al., 2009; Verble-Pearson et al., 2015; Leong et al., 2019; Roeder et al., 2021; Nascimento et al., 2022). Dessa forma, as espécies de formigas que progridem em áreas urbanas podem desenvolver traços funcionais que aumentam a sua eficiência na defesa contra predadores, com poluição e temperaturas elevadas, resistência e estresse ambiental e busca por alimento (Angilletta et al., Nascimento et al., 2022).

Por outra perspectiva, a falta das variações significativas na tolerância térmica e nos atributos morfológicos na maioria das espécies estudadas podem indicar fortes conservadorismo destes atributos. Considerando que a tolerância térmica, constantemente descrita como tendo uma alta variação entre as espécies (Nascimento et al., 2024), se manteve fixo no contexto de Recife. Isto desafia a expectativa de que a urbanização promova um aumento no CTMax das formigas, como recomendado por estudos de outras regiões (Kaspari et al., 2015).

Apesar da temperatura ambiental realizar um papel crucial na fisiologia dos organismos ectotérmicos, nossos resultados mostram que outras estratégias adaptativas, podendo ser no seu comportamento ou pode estar relacionada com a aclimação térmica (Nascimento et al., 2022), podem ser mais importantes para formigas em ambientes urbanos. Há uma literatura vasta sobre os ajustes do comportamento das formigas devido às respostas da alteração do ambiente, como apresentado em estudos sobre o comportamento e a plasticidade das espécies (Dehling et al., 2016; Cerdá & Boulay, 2017; Haywood et al., 2018; Segev & Foitzik, 2019). Por exemplo, Silva e colaboradores (2019) observam sobre as mudanças do comportamento do forrageamento das formigas, como escolher microhabitat para evitar períodos ou locais mais quentes e alteração do horário de forrageamento. Da mesma maneira, foram registradas duas espécies do gênero *Camponotus* que iniciaram o forrageamento no fim da tarde para reduzir o risco de perda hídrica,

comprovando a ideia que formigas noturnas tendem a apresentar valores menores da CTMax (Arnan et al., 2014 e Esch et al., 2017).

Uma diferente possibilidade é que algumas espécies sejam mais expostas às mudanças climáticas por causa da conservação dos seus nichos climáticos, enquanto outras, com os nichos mais flexíveis, possuem um potencial maior para desenvolver traços de adaptação em respostas ao aumento da temperatura (Morton & Davidson, 1988; Morton & James, 1988; Andersen, 1997). As espécies neotropicais do nordeste brasileiro apresentam diferença na CTMax de até aproximadamente 12 graus Celsius (Nascimento et al., 2024). Por fim, as colônias podem constantemente lidar com temperaturas provocantes por meio da aclimação e da plasticidade térmica (Nascimento et al., 2022; Freires et al., 2023), permitindo que enfrentem um aumento da temperatura global. Além do mais, é importante considerar que, em alguns cenários, a dieta pode ter um papel importante na tolerância térmica das formigas, visto que o acesso a níveis mais altos de proteína pode aumentar o CTMax das operárias (Freires et al., 2023).

A modulação morfológica das pernas, especialmente em termos de extensão e comprimento relativo ao tórax, ajusta a alavanca de tração durante o corte de fragmentos foliares em formigas cortadeiras. Esse ajuste otimiza a cinemática de rotação ao redor dos pontos de contato (tarsos metapleurais), permitindo a definição de fragmentos aproximadamente semicirculares — estratégia decorrente da relação entre alcance mandibular e as pernas traseiras, conforme observado por (Roces & Hölldobler 1994). A urbanização continuamente cria micro-habitats que favorecem adaptações específicas, com a capacidade de explorar nicho estreito ou utilizar outras fontes de alimentos não convencionais, podendo levar à variação morfológica entre as populações rurais e urbanas (Denney et al., 2020). Já foi descrito para o para todas formigas (Hölldobler & Wilson, 1990), onde as variações nos traços morfológicos acontecem por causa das temperaturas elevadas (Oliveira et al., 2022), podendo afetar CTMax a níveis individuais e, por consequência, a nível da colônia (Cerdá & Retana, 2000).

A diminuição da mandíbula, uma estrutura da formiga especializada na manipulação do alimento e na regulação hídrica, pode refletir em uma adaptação funcional a desafios da dessecação ou manipulações de alimentos diferentes em ambientes urbanos (Davidson et al., 2004). Estes resultados para *Atta sexdens*

indicam que a maioria dos atributos morfológicos se mantiveram por igual em resposta da urbanização, por outro lado, outras espécies podem apresentar adaptações mais específicas, provavelmente, relacionadas com a exploração dos recursos e a cobertura vegetal em habitats modificados. Com estas respostas, ressalta a importância de considerar a variabilidade entre as espécies quanto dentro das espécies em estudos sobre adaptações urbanas. Além de que, sugere que a urbanização pode não impactar todas as espécies de forma total, mas pode impor pressões individuais por favorecer respostas específicas em algumas espécies, como adaptações da morfologia e aumento do polimorfismo.

Em síntese, apesar de não termos encontrado respostas significativas quanto a traços fisiológicos em nenhuma das espécies estudadas, e as mudanças nos traços morfológicos tenha sido limitada da *Atta sexdens*, nossos resultados destacam a importância de uma abordagem complexa para compreender as respostas das formigas quanto a urbanização. O estudo sugere que as adaptações do comportamento podem ser a estratégias cruciais para a sobrevivência de algumas espécies em meio urbano. Estes resultados fortalecem a necessidade de mais estudos sobre as formigas e outras espécies que interagem com ambiente urbanizado e como as interações podem moldar a ecologia e evolução. Esta pesquisa pode servir como um ponto inicial para estudos futuros, destacando a importância de considerar que as áreas urbanas com condições ambientais distintas e desafiadoras, são especialmente relevantes para os estudos da tolerância e da plasticidade.

7) CONCLUSÃO

É possível perceber que as consequências da urbanização impactam de forma negativa a vida natural dos animais, que, devido às alterações do meio, deparam-se com a necessidade de criação de novas estratégias para suportar condições como o aumento das temperaturas e a indisponibilidade de alimentos. Foi observado que espécies de formigas apresentaram, além de mudanças morfológicas, como diminuição no tamanho da mandíbula e das pernas, mudanças também nos hábitos de forrageamento, visando maior adaptação ao meio urbano. A hipótese inicial foi corroborada, visto que foi constatada uma mudança morfológica

em formigas que vivem em áreas com predomínio de regiões impermeáveis, quanto aos resultados dos traços fisiológicos não houve resultado significativo.

A importância do estudo reside na necessidade de investigação da interferência das alterações urbanas no cotidiano das espécies e em como elas se adaptam às novas configurações desse meio. A justificativa do uso de formigas neste estudo se dá pelo potencial bioindicador desses animais, além da facilidade de se trabalhar com espécies menores e da familiaridade pessoal com esse objeto de pesquisa, que vem sendo foco de trabalhos anteriores.

Ademais, esta pesquisa buscou, sem esgotar a complexidade do tema, analisar as respostas plásticas das espécies selecionadas às alterações advindas do desenvolvimento urbano. Além de lançar luz sobre a importância desse tipo de análise, que pode ser aplicada em estudos de outros animais nos mais diversos contextos ambientais, visto que a tendência mundial atual é a maior concentração de humanos em locais urbanos, que resulta em maiores interferências antrópicas no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. S.; MAYHE-NUNES, A. J.; QUEIROZ, J. M. The Importance of Poneromorph Ants for Seed Dispersal in Altered Environments. *Sociobiology*, v. 60, p. 229–235, 2013.

AMARAL, G. C.; VARGAS, A. B.; ALMEIDA, F. S. Forrageio diurno de *Odontomachus bauri* Emery (Hymenoptera: Formicidae) em plantio de *Eucalyptus* sp. no município de Volta Redonda-RJ. *EntomoBrasilis*, v. 10, n. 3, p. 143–147, 2017.

ANDERSEN, A. N. Respostas de comunidades de formigas a perturbações: Cinco princípios para compreender a dinâmica de perturbações de um grupo faunístico globalmente dominante. *Journal of Animal Ecology*, v. 88, p. 350–362, 2018.

doi:10.1111/1365-2656.12907

ANGILLETTA JR, M. J. (2009). Adaptação térmica: uma síntese teórica e empírica.

ANGILLETTA, M. J.; COOPER, B. S.; SCHULER, M. S.; BOYLES, J. G. A evolução da fisiologia energética térmica em endotérmicos. *Ecologia Funcional*, v. 21, n. 4, p. 477–485, 2007.

ANTWEB. *AntWeb – Ants of the World*. Disponível em: <https://www.antweb.org/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BÉRINGER, É. Memórias a-cêrca do Pôrto do Recife. *Revista Arquivos (Recife)*, v. 2, 1942.

BIGI, M. F. M. A.; TORKOMIAN, V. L. V.; GROOTE, S. T. C. S.; HEBLING, M. J. A.; BUENO, O. C.; PAGNOCCA, F. C.; FERNANDES, B. P.; VIEIRA, C.; SILVA, M. F. G. F. Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) and ricine against the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) and the symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus*. *Pest Management Science*, v. 60, p. 933–938, 2004.

BOLTON, B. *Identification guide to the ant genera of the world*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1994.

BOLGER, D. T.; SUAREZ, A. V.; CROOKS, K. R.; MORRISON, S. A.; CASE, T. J. Artrópodes em fragmentos de habitat urbano no sul da Califórnia: área, idade e efeitos de borda. *Ecological Applications*, v. 10, n. 4, p. 1230–1248, 2000.

BRANDL, S. J.; ROBBINS, W. D.; BELLWOOD, D. R. Exploring the nature of ecological specialization in a coral reef fish community: morphology, diet and foraging microhabitat use. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 282, n. 1815, p. 20151147, 2015. doi:10.1098/rspb.2015.1147

BRANDL, S. J.; ROBBINS, W. D.; BELLWOOD, D. R. Functional traits and trait-based community assembly in reef fishes. *Ecology*, v. 96, n. 1, p. 91–101, 2015.

Buczkowski, G.; Bennett, G. W. Dispersed central-place foraging in the polydomous odorous house ant, *Tapinoma sessile*, as revealed by a protein marker. *Insectes Sociaux*, v. 53, p. 282–290, 2006.

CERDÁ, X.; RETANA, J.; MANZANEDA, A. J. Seleção de habitat e organização comunitária em formigas. *Insectes Sociaux*, v. 44, n. 4, p. 393–406, 1997.

CERDÁ, X.; RETANA, J.; MANZANEDA, A. J. Estrutura da comunidade de formigas em relação ao habitat diversidade em habitats mediterrânicos. *Oecologia*, v. 117, n. 1, p. 1–9, 1998.

CHAPIN III, F. Stuart et al. Consequences of changing biodiversity. *Nature*, v. 405, n. 6783, p. 234–242, 2000.

CHEN, Y. H.; NEOH, K. B. A urbanização causa mudanças nas características funcionais e na atividade de forrageamento, além de alterar a preferência pelo tamanho das partículas alimentares e a remoção de biomassa das formigas que vivem em áreas urbanas. *Fronteiras em Ecologia e Evolução*, v. 11, 1044485, 2023.

Curtis, P. G.; Slay, C. M.; Harris, N. L.; Tyukavina, A.; Hansen, M. C. Classificando impulsionadores da perda global de florestas. *Science*, v. 361, n. 6407, p. 1108–1111, 2018.

DAVIDSON, D. W.; COOK, S. C.; SNELLING, R. R. Desempenho de formigas na alimentação líquida (Formicidae): implicações ecológicas e evolutivas. *Oecologia*, v. 139, p. 255–266, 2004.

DAVIDSON, D. W.; STONE, J. O papel das formigas na ecologia do sudeste dos Estados Unidos. *Ecological Applications*, v. 2, n. 1, p. 12–16, 1989.

DEHLIING, D. M.; JORDANO, P.; SCHAEFER, H. M.; BÖHNING-GAESE, K.; SCHLEUNING, M. A morfologia prevê os papéis funcionais das espécies e seu grau de especialização em interações planta-frugívoro. *Annals of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 283, n. 1823, 2016. doi:10.1098/rspb.2015.2444

DELABIE, J. H. C. et al. Formigas como indicadores da biodiversidade de invertebrados terrestres em ambientes de floresta atlântica e cacauais no sul da Bahia. *Manejo Integrado de Pragas*, v. 56, p. 24–32, 2000.

DENNEY, D. A.; JAMEEL, M. I.; BEMMELS, J. B.; ROCHFORD, M. E.; ANDERSON, J. T. Pequenos espaços, grandes impactos: contribuições da variação microambiental para a persistência populacional sob as mudanças climáticas. *AoB PLANTS*, v. 12, n. 2, plaa005, 2020. doi:10.1093/aobpla/plaa005

DEUTSCH, C. A.; TEWKSBURY, J. J.; HUEY, R. B.; SHELDON, K. S.; GHALAMBOR, C. K.; HAAK, D. C.; MARTIN, P. R. Impactos do aquecimento climático em ectotérmicos terrestres em latitudes diferentes. *Annals of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 18, p. 6668–6672, 2008.

Diamond, S. E.; Chick, L. D.; Perez, A.; Strickler, S. A.; Martin, R. A. Evolução de tolerância térmica e suas consequências de aptidão: respostas paralelas e não paralelas ao calor urbano ilhas em três cidades. *Proceedings of the Royal Society B*, v. 285, n. 1882, 2018. doi:10.1098/rspb.2018.0036

Diamond, S. E.; Martin, R. A. Consequências evolutivas da urbanização para a fauna e populações. *Biological Conservation*, v. 242, 108376, 2020.

EGERER, M. H.; AREL, C.; OTOSHI, M. D.; QUISTBERG, R. D.; BICHIER, P.; PHILPOTT, S. M. Os artrópodes urbanos respondem de forma variável às mudanças no contexto da paisagem e na escala espacial. *Journal of Urban Ecology*, v. 3, n. 1, jux001, 2017.

ESPADALER, X.; LÓPEZ-SORIA, L. Rareness of certain Mediterranean ant species: fact or artifact? *Insectes Sociaux*, v. 38, p. 365–??? no ano.

FERNANDES, G. W.; DEL-CLARO, K. *Ecologia de insetos: uma introdução à interação inseto-planta*. Lavras: UFLA, 2005. 132 p.

GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; PERES, C. A. Uma abordagem multi-escala para compreender degradação da floresta tropical. *Global Change Biology*, v. 25, n. 9, p. 2942–2955, 2019.

GARNIER, E. et al. *Plant functional diversity: organism traits, community structure, and ecosystem properties*. Oxford: Oxford University Press, 2016.

Gibb, H.; Sanders, N.; Dunn, R.; Arnan, X.; Vasconcelos, H.; Donoso, D.; Parr, C. Perturbações no habitat selecionam espécies pequenas e grandes em climas variados. *Ecography*, v. 41, p. 1184–1193, 2018.

GIPPET, Jérôme M. W. et al. I'm not like everybody else: urbanization factors shaping spatial distribution of native and invasive ants are species-specific. *Urban Ecosystems*, v. 20, p. 157–169, 2016.

GOMES, Emerson Chaves Ferreira et al. Comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em dois estágios sucessionais e em um fragmento de Mata Atlântica do Estado de Sergipe. 2013.

GORDON, D. M. The ecology of collective behavior in ants. *Annual Review of Entomology*, v. 55, p. 191–208, 2010.

GROFFMAN, P. M.; CAVENDER-BARES, J.; BETTEZ, N. D.; GROVE, J. M.; HALL, S. J.; HEFFERNAN, J. B.; ... STEELE, M. K. Homogeneização ecológica dos EUA urbanos. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 12, n. 1, p. 74–81, 2014.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. *The Ants*. Cambridge: Harvard University Press, 1990. 732 p.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. *As formigas*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990.

HOLWAY, D. A. et al. Os efeitos da formiga invasora argentina sobre espécies de formigas nativas nos Estados Unidos. *Biological Conservation*, v. 16, n. 5, p. 1150–1158, 2002.

KASPARI, M.; CLAY, N. A.; LUCAS, J.; YANOVIK, S. P.; KAY, A. Adaptação térmica gera uma diversidade de limites térmicos em uma comunidade de formigas da floresta tropical. *Global Change Biology*, v. 21, n. 3, p. 1092–1102, 2015.

KASPARI, M.; O'DONNELL, S.; KERCHER, J. R. Energia, densidade e restrições à riqueza de espécies: assembléias de formigas ao longo de um gradiente de produtividade. *The American Naturalist*, v. 155, p. 280–293, 2000.

doi:10.2307/3078948

KEARNEY, M.; PORTER, W. Modelagem de nicho mecanicista: combinando dados fisiológicos e espaciais para prever os intervalos das espécies. *Ecology Letters*, v. 12, n. 4, p. 334–350, 2009.

KEARNEY, M.; SIMPSON, S. J.; RAUBENHEIMER, D.; HELMUTH, B. Modelando o nicho ecológico a partir de traços funcionais. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 365, n. 1557, p. 3469–3483, 2010.

KÜBLER, L. S.; KELBER, C.; KLEINEIDAM, C. J. Fenótipos diferentes do lobo antenal na formiga cortadeira (*Atta vollenweideri*). *Journal of Comparative Neurology*, n. 3, p. 352–587, 2010.

LANGLEY, R. Predação e a evolução de ataques de alta velocidade em mamíferos. *Functional Ecology*, v. 8, n. 4, p. 471–477, 1994.

LESSARD, J. P.; BUDDLE, C. M. The effects of urbanization on ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) associated with the Molson Nature Reserve, Quebec. *The Canadian Entomologist*, v. 137, n. 2, p. 215–225, 2005.

LESSARD, J. P.; GRUNER, D. S.; DUNN, R. R. O impacto da mudança ambiental na comunidades de formigas: implicações para o monitoramento ecológico. *Ecosystems*, v. 12, n. 1, p. 65–77, 2009.

LEAL, I. R. Dispersão de sementes por formigas na caatinga. In: *Ecologia e conservação da caatinga*, p. 593–624, 2003.

LEAL, I. R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Seed Dispersal by Ants in the Semi-arid Caatinga of North-east Brazil. *Annals of Botany*, v. 99, p. 885–894, 2007. doi:10.1093/aob/mcm017

LEAL, I. R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Formigas e a estruturação de comunidades vegetais. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 35, n. 4, p. 481–489, 2012.

LEBRUN, E. G.; FEELEY, K. J.; WESSEL, T.; LUBIN, Y. Dispersão da formiga invasora *Solenopsis invicta* em ecossistemas áridos. *Ecology*, v. 96, p. 1183–1191, 2015.

LEBRUN, E. G.; PLACER, J.; HOLWAY, D. A. Formigas invasoras facilitam outras invasões: invasões secundárias e a substituição competitiva de espécies nativas. *Ecology*, v. 88, p. 5–15, 2007.

LOMBARDO, R. J.; FERNANDES, T. T.; MARQUES, M. I. Diversidade e composição da mirmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) em remanescentes florestais urbanos de Campo Grande, MS. *Revista de Biologia Neotropical*, v. 10, n. 2, p. 97–106, 2013.

LUEDERS, M. E.; SILVA, R. R.; DELABIE, J. H. C. Composição de espécies de formigas epigeicas (Hymenoptera: Formicidae) em áreas verdes urbanas em Ilhéus,

Bahia. *Sitientibus Série Ciências Biológicas*, v. 12, n. 1, p. 11–18, 2012.

LUQUE, G. M.; PARDO, I.; FRANCO, D.; ZAMORA, R. Efeito da urbanização sobre os serviços ecossistêmicos de dispersão de sementes por formigas. *Urban Ecosystems*, v. 15, p. 415–426, 2012.

MAJER, J. D. Utilização de formigas como bioindicadores da regeneração de florestas tropicais. *Revue d'Écologie (La Terre et la Vie)*, v. 51, p. 89–103, 1996.

MAJER, J. D.; DELABIE, J. H. C.; CABRERA, D. M. Ant litter fauna of forest, forest edges and neighboring polycultures in Atlantic rainforest, Bahia, Brazil. *Insectes Sociaux*, v. 45, p. 1–10, 1998.

MAJER, J. D.; LESTER, P. J. Invasões de formigas: causas e consequências. *Diversity and Distributions*, v. 5, p. 123–135, 1999.

MCCLAIN, C. R.; BARRY, J. P. Habitat heterogeneity, disturbance, and productivity work in concert to regulate biodiversity in deep submarine canyons. *Ecology*, v. 91, n. 4, p. 964–976, 2010.

MCDONNELL, M. J.; HESSELMAN, M.; MCINTYRE, N. E.; PFAFFENBERGER, J. E. Ant communities along an urban–to–rural gradient in southeastern Australia. *Urban Ecosystems*, v. 11, p. 369–384, 2008.

MENEZES, R. S. T.; GOMES, A. L. O.; SILVA, M. J. C.; RAMOS, J. P.; ALMEIDA, W. O. Composição de espécies de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em diferentes ambientes urbanos da cidade de Teresina, PI. *Revista Biotemas*, v. 28, n. 1, p. 77–86, 2015.

MENEZES, R. S. T.; RAMOS, J. P.; ALMEIDA, W. O. Formigas como bioindicadores ambientais. *Revista Verde*, v. 10, n. 3, p. 47–54, 2015.

MESSINA, F. J. Plant trait variation and the performance of seed predators. *Oecologia*, v. 112, p. 152–161, 1997.

MOREIRA, D. de D. O.; CAMPOS, L. A. de O.; MAJER, J. D. Composição e diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em áreas verdes urbanas em Uberlândia, MG. *Neotropical Entomology*, v. 37, n. 6, p. 725–730, 2008.

MURPHY, G. E. P.; ROMANUK, T. N. A meta-analysis of declines in local species richness from human disturbances. *Ecology and Evolution*, v. 4, n. 1, p. 91–103, 2014.

NEVES, F. S.; SOUSA, J. P. Bioindicadores ambientais: aplicações em ecossistemas terrestres. *Oecologia Australis*, v. 11, n. 4, p. 662–688, 2007.

OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. Agropecuária, fragmentação florestal e biodiversidade na Mata Atlântica nordestina. *Biodiversidade Brasileira*, v. 3, p. 15–28, 2005.

OLIVEIRA, P. S.; FREITAS, A. V. L. Ant–plant–herbivore interactions in the neotropical cerrado savanna. *Naturwissenschaften*, v. 91, p. 557–570, 2004.

OLIVEIRA, P. S.; LEAL, I. R. Ecologia e evolução da dispersão de sementes por formigas. In: *Ecologia e comportamento de insetos: uma abordagem ecológica*, 2002.

OLIVEIRA, P. S.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Distribution of seed–harvesting ants in a Brazilian tropical rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, v. 7, p. 385–398, 1991.

PARR, C. L.; SINCLAIR, B. J.; ANDERSEN, A. N.; GASTON, K. J.; CHOWN, S. L. Variation in body size and distribution of ants in southern Africa. *Journal of Biogeography*, v. 30, p. 103–111, 2003.

PARR, C. L.; ANDERSEN, A. N. Patch mosaic burning for biodiversity conservation: a critique of the pyrodiversity paradigm. *Conservation Biology*, v. 20, n. 6, p. 1610–1619, 2006.

PAULA, J. E.; FERNANDES, G. W. Controle de formigas cortadeiras: avanços e desafios. *Neotropical Entomology*, v. 40, n. 3, p. 225–232, 2011.

PECK, S. L.; TEJEDOR, S. A.; McGlynn, T. P. Diversity and community structure of ants along elevation gradients in Costa Rica and Colombia. *Biotropica*, v. 30, p. 319–328, 1998.

PFEIFFER, M.; CHIME, O.; SCHLICK-STEINER, B. C.; STEINER, F. M. The role of functional traits in ant–plant mutualisms. *Ecological Monographs*, v. 79, p. 45–63, 2009.

PHILPOTT, S. M.; ARMBRECHT, I.; PARR, C. L.; FINEGAN, B.; FOSTER, B. L. Ant diversity and function in disturbed and regenerating tropical forests. *Biotropica*, v. 40, n. 3, p. 220–226, 2008.

PICKETT, S. T. A.; CADENASSO, M. L.; GROVE, J. M. Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 32, p. 127–157, 2001.

PIMENTEL, D.; ZUNIGA, R.; MORRISON, D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, v. 52, p. 273–288, 2005.

PORTER, S. D.; TSHINKEL, W. R. Fire ant mound densities in Florida pastures: relationship to disturbance and to host plant species. *Environmental Entomology*, v. 22, p. 1547–1554, 1993.

RIBEIRO, S. P.; FONSECA, C. R. Effects of forest fragmentation on litter-dwelling ants in central Amazon. *Biological Conservation*, v. 106, p. 209–216, 2002.

RICKETTS, T. H. et al. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology Letters*, v. 11, p. 499–515, 2008.

SANTOS, P. F.; SILVA, J. A. A.; RAMALHO, M.; BUENO, O. C. A comunidade de formigas epigeicas (Hymenoptera: Formicidae) em diferentes ambientes urbanos de São Paulo. *Neotropical Entomology*, v. 36, n. 5, p. 628–637, 2007.

SCHMIDT, F. A.; DIEHL, E.; VASCONCELOS, H. L. Impacto da fragmentação florestal sobre a mirmecofauna em área de Mata Atlântica no sul do Brasil. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, p. 323–331, 2010.

SCHOOLEY, R. L.; WIENS, J. A. Dispersal behavior of *Pogonomyrmex rugosus* and habitat fragmentation: a matrix-based model. *Ecological Applications*, v. 12, p. 1496–1508, 2002.

SCHREIBER, S. J. Interactive effects of temporal correlations, spatial heterogeneity and dispersal on population persistence. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 277, p. 1907–1914, 2010.

SEIFERT, B. The ants of Central and North Europe. Lutra Verlag, 2018.

SILVA, R. R.; DELABIE, J. H. C.; MORINI, M. S. C. Composição da mirmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) de serapilheira em áreas urbanas da Mata Atlântica. *Biota Neotropica*, v. 9, n. 3, p. 153–160, 2009.

SILVA, R. R.; SILVA, I. M. Biologia de formigas urbanas. In: *Mirmecologia no Brasil*, p. 343–355, 2011.

SOUSA-SOUTO, L.; CASTRO, P. T. A.; MOREIRA, D. O. Composição e estrutura de comunidades de formigas epigeicas (Hymenoptera: Formicidae) em ambientes urbanos de João Pessoa, PB. *Revista Nordestina de Biologia*, v. 19, n. 1, p. 45–58, 2013.

SPEAR, D. M.; NAKAGAKI, M.; OGLE, D. H. Local variation in ant community composition and its relation to urban land cover. *Urban Ecosystems*, v. 13, n. 3, p. 373–388, 2010.

STEIN, A.; GERSTNER, K.; KREFT, H. Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, v. 17, n. 7, p. 866–880, 2014.

SUAREZ, A. V.; HOLWAY, D. A.; TSUTSUI, N. D.; CASE, T. J.; DAVIDSON, D. W. Behavioral and genetic differentiation between native and introduced populations of the Argentine ant. *Biological Invasions*, v. 3, n. 1, p. 1–12, 2001.

TABARELLI, M.; PERES, C. A.; MEDEIROS, P. M. Edge-effects drive Atlantic forest loss and biodiversity decline. *Biological Conservation*, v. 141, n. 1, p. 102–116, 2008.

TIBCHEN, C. G.; SANTOS, A. I. S.; RIBEIRO, P. V. S.; CAVALCANTI, L. H. Formigas como bioindicadores em áreas verdes urbanas. *Revista Brasileira de Ecologia*, v. 17,

n. 2, p. 35–44, 2015.

TORRES, J. A.; SNELLING, R. R.; CANALS, M. Seasonal and nocturnal foraging by ants in the semideciduous forest of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, v. 33, p. 44–49, 1997.

TSCHINKEL, W. R. The fire ants. Harvard University Press, 2006.

TSCHINKEL, W. R. The natural history of the arboreal ant, *Crematogaster ashmeadi*. *Journal of Insect Science*, v. 2, n. 1, p. 1–13, 2002.

VAN WILGEN, B. W.; RICHARDSON, D. M.; LE MAITRE, D. C. Invasive alien plants in South Africa: how well do we understand the ecological impacts? *South African Journal of Science*, v. 106, n. 5/6, 2010.

VASCONCELOS, H. L. Formigas como bioindicadores de alterações ambientais. *Oecologia Brasiliensis*, v. 4, p. 115–128, 1998.

VASCONCELOS, H. L.; VILHENA, J. M. S.; CALIRI, G. J. A. Responses of ants to selective logging of a central Amazonian forest. *Journal of Applied Ecology*, v. 37, p. 508–514, 2000.

VILHENA, J. M. S.; NASCIMENTO, J. L. M.; VASCONCELOS, H. L. Ant communities along a vegetation gradient in a transitional forest in eastern Amazonia. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 35, p. 85–94, 2000.

VOGEL, H. L. Ants as indicators of environmental disturbance in the Amazon. *Acta Amazonica*, v. 13, n. 1, p. 255–258, 1983.

WANG, C.; STRONG, D. R. Spatial patterns in the density and dispersal of the invasive Argentine ant (*Linepithema humile*) in a California grassland. *Biological Invasions*, v. 1, n. 1, p. 83–89, 1999.

WARD, P. S. Taxonomy, phylogenetics, and evolution of ants. *Current Biology*, v. 17, p. R577–R582, 2007.

WARD, P. S.; BRADY, S. G.; FISHER, B. L.; SCHULTZ, T. R. Phylogeny and biogeography of dolichoderine ants: effects of data partitioning and alignment. *Systematic Biology*, v. 59, p. 342–362, 2010.

WATT, A. D.; STORK, N. E.; BOLTON, B. The diversity and abundance of ants in relation to forest disturbance and plant diversity in Cameroon. *Biological Conservation*, v. 63, p. 25–32, 1993.

WATTS, C. H.; DIDIUK, A. B.; JONES, S. A. Monitoring and managing ants in urban greenspaces: a New Zealand case study. *Ecological Management & Restoration*, v. 17, n. 3, p. 191–198, 2016.

WEISER, M. D.; KASPARI, M. Ecological morphospace of New World ants. *Ecological Entomology*, v. 31, p. 131–142, 2006.

- WESTPHAL, C.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, p. 304–308, 2008.
- WETTERER, J. K.; WETTERER, A. L.; HEWLETT, E. S. Richness and composition of leaf-litter ants along an elevational gradient in the Philippines. *Ecological Research*, v. 15, p. 109–119, 2000.
- WILLIAMS, N. M.; CRONE, E. E.; RITTENHOUSE, C. D. The role of resource quality and spatial context in determining ant species richness and abundance in a fragmented landscape. *Landscape Ecology*, v. 19, n. 8, p. 833–848, 2004.
- WILSON, E. O. The insect societies. Cambridge: Harvard University Press, 1971.
- WILSON, E. O. Success and dominance in ecosystems: the case of the social insects. *Ecology Institute*, v. 1, p. 1–20, 1990.
- WILSON, E. O.; HÖLLDOBLER, B. The rise of the ants: a phylogenetic and ecological explanation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 102, p. 7411–7414, 2005.
- WIRTH, R.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Formigas como agentes de engenharia: impactos na estrutura vegetal de florestas tropicais. *Revista de Biologia Tropical*, v. 55, p. 37–47, 2007.
- WOODCOCK, B. A. Pollination services in a changing world: a review of key questions. *Journal of Applied Ecology*, v. 49, p. 772–780, 2012.
- YANOVIK, S. P.; DUDLEY, R.; KASPARI, M. Gliding ants and the evolutionary origins of wingless arboreal locomotion. *Integrative and Comparative Biology*, v. 45, p. 865–874, 2005.
- YOUNGSTEADT, E.; FAETH, S. H.; MCGINTY, M.; LOMBARDO, R. J.; DUNN, R. R. Urbanization increases body size in ants. *Ecological Entomology*, v. 35, n. 3, p. 385–394, 2010.
- ZANETTI, R.; MENDES, J. F.; SANTOS, F. A. M. Impacto do uso da terra na diversidade de formigas em áreas de cerrado e floresta. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 52, n. 4, p. 606–612, 2008.
- ZAVALA-HURTADO, J. A.; ARZATE-FERNÁNDEZ, A. M.; CERVANTES-VÁZQUEZ, A. Alteração da vegetação nativa e a composição da mirmecofauna em áreas urbanas. *Acta Zoológica Mexicana*, v. 28, p. 77–89, 2012.
- ZCHAU, B. R.; BOWERS, M. A. Influence of urbanization on ant–seed interactions. *Urban Ecosystems*, v. 9, p. 233–243, 2006.
- ZÉREA, S. R.; CHAGAS, A. C.; SOUZA, J. L. P. Comparação da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em remanescentes florestais e áreas urbanas. *Revista*

Ciência Florestal, v. 20, n. 4, p. 659–666, 2010.

ZHU, H.; PENG, Y. Q.; LU, Y. Y.; YANG, C. Distribution of ground-dwelling ants in urban habitats of China. *Asian Myrmecology*, v. 8, p. 45–56, 2016.

ZIMMERMAN, J. K.; AIDE, T. M.; HERRERA, L. The effect of hurricanes on forest structure and ants in Puerto Rico. *Biotropica*, v. 32, p. 502–514, 2000.

ZINA, H.; OLIVEIRA, P. S. Foraging ecology of *Pheidole* species: temporal activity, diet and interference competition. *Journal of Insect Science*, v. 15, p. 1–11, 2015.

ZITA, G. A.; LOPES, J. F. S.; OLIVEIRA, M. A. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em ambientes urbanos de Recife, PE. *Revista Nordestina de Biologia*, v. 22, n. 1, p. 19–26, 2013.

ZURITA, G. A.; BELLIS, L. M.; SÁNCHEZ, R.; MÜLLER, C. Urbanization and biodiversity loss: the case of ant diversity in the city of Buenos Aires. *Landscape and Urban Planning*, v. 79, p. 341–349, 2007.

ZÜHLKE, S.; FIEDLER, K. Habitat disturbance and its influence on the structure of ant communities in a montane rainforest in southern Ecuador. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 33, n. 2–3, p. 111–124, 1998.

ZÜLKE, P. T.; COSTA, M. L. N. Bioindicadores ambientais: formigas em áreas impactadas por ação antrópica na Amazônia oriental. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 14, n. 1, p. 18–25, 2012.