UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE BIOCIÊNCIAS

LUIZA RODRIGUES SORIANO

Avaliação dos traços funcionais de *Camponotus crassus* em um gradiente de urbanização

RECIFE

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE BIOCIÊNCIAS

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS BACHARALEADO

LUIZA RODRIGUES SORIANO

Avaliação dos traços funcionais de *Camponotus crassus* em um gradiente de urbanização

TCC apresentado ao Curso de Ciências biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Ciências biológicas.

Orientador(a): Isabelle Leite de Holanda Silva

RECIFE

2023

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

Soriano, Luiza Rodrigues.
Avaliação dos traços funcionais de Camponotus crassus em um gradiente de urbanização / Luiza Rodrigues Soriano. - Recife, 2323.
40 : il., tab.

Orientador(a): Isabelle Leite de Holanda Silva
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2323.

1. Formigas. 2. Funções ecossistêmicas. 3. Morfometria. 4. Termotolerância.
5. Urbanização. I. Silva, Isabelle Leite de Holanda. (Orientação). II. Título.

570 CDD (22.ed.)

LUIZA RODRIGUES SORIANO

AVALIAÇÃO DOS TRAÇOS FUNCIONAIS DE *CAMPONOTUS CRASSUS* EM UM GRADIENTE DE URBANIZAÇÃO

TCC apresentado ao Curso de Ciências biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências,como requisito para a obtenção do título de bacharel em Ciências biológicas.

Aprovado em: 19/04/2023.

BANCA EXAMINADORA

_____

Ma. Isabelle Leite de Holanda Silva
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Ma. Haymee Nascimento de Alencar
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Dr. Ronald Noutcheu
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas me apoiaram direta e indiretamente nesse trabalho. Agradeço à professora Inara Roberta Leal pela oportunidade de estagiar e de fazer minha pesquisa e meu trabalho de conclusão de curso no LIPA (Laboratório de Interação Planta Animal). Agradeço aos meus colegas do LIPA, começando por Isabelle Leite de Holanda Silva, que esteve comigo do início ao fim dessa pesquisa, e que tanto contribuiu para o meu crescimento como profissional e como pessoa. A orientação e a amizade dela me encorajam a encarar as dificuldades e melhorar na minha área. Agradeço ao meu colega de graduação Iago Monteiro da Costa Wäcker pelo apoio com as coletas, com as montagens das formigas e por tornar o dia a dia mais leve no laboratório! Agradeço ao Mikael Castro por nos ajudar a montar as formigas de forma mais decente, ao Daniel Siqueira de Vasconcelos por ser tão solícito e por contribuir com a metodologia de morfometria das formigas e ao Diego Centeno por nos ajudar com as análises dos dados. Agradeço a todos os meus professores da graduação por tantos anos de aprendizado. Agradeço aos meus pais, à minha irmã, às minhas amigas e amigos por toda paciência e apoio!

Epígrafe

“A ciência é mais do que um corpo de conhecimento,
é um modo de pensar”.

Carl Sagan, O Mundo Assombrado pelos Demônios.

RESUMO

Neste trabalho medimos a tolerância térmica máxima e variações morfológicas como traços funcionais da formiga *Camponotus crassus* coletadas em um gradiente de urbanização na cidade de Recife (PE). O objetivo geral foi avaliar se essa espécie de formiga presente em todo gradiente, possui traços funcionais que funcionem como adaptações para persistir nos habitats apesar das mudanças provocadasdevido ao processo de urbanização, como o aumento da temperatura do solo. Foi realizada a coleta de operárias de *C. crassus* em 24 áreas com diferentes porcentagens de superfície impermeável, e cada indivíduo foi colocado em uma máquina cuja temperatura foi aumentada em 1ºC a cada cinco minutos até que todas as formigas morressem e anotamos a temperatura máxima. Posteriormente, medimos alguns atributos morfológicos como: tamanho da antena, cabeça, clípeo, mandíbula, perna e olhos, que estão relacionados com o deslocamento e percepção das formigas nos diferentes habitats. Encontramos que o aumento na porcentagem de área urbana influencia na tolerância térmica máxima como traço fisiológico e no tamanho dos atributos corporais medidos como traços morfológicos (com exceçãodo tamanho da antena) dos indivíduos de *Camponotus crassus*. Essas alterações podem representar algumas das respostas que essas espécies utilizaram para persistir em hábitats altamente modificados.

Palavras-chave: Formigas; Funções ecossistêmicas, Morfometria; Termotolerância; Urbanização.

ABSTRACT

In this work we measure the maximum thermal tolerance and morphological variations as functional traits of the ant *Camponotus crassus* collected in an urbanization gradient in the city of Recife (PE). We evaluated whether this ant species, present throughout the gradient, has functional traits that function as tolerance to persist in habitats despite the changes caused by the urbanization process, such as the increase in soil temperature. *C. crassus* workers were collected in 24 areas with different percentages of impermeable surface, and each individual was placed in a machine whose temperature was increased by 1ºC every five minutes until all the ants died and the maximum temperature was recorded. Subsequently, we measured some morphological attributes such as: sizeof the antenna, head, clypeus, jaw, leg and eyes, which are related to the displacement and perception of ants in different habitats. we found that the increase in the percentage of urban area influences the maximum thermal tolerance as a physiological trait and the size of body attributes as morphological traits (with the exception of antenna size) of *Camponotus crassus* individuals. These alterations may represent some of the responses that these species used to persist in highly modified habits.

Keywords: Ants; Ecosystem functions, Morphometry; Thermotolerance; Urbanization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação da extensão da malha urbana de Recife, Pernambuco, feita a partir das camadas de cobertura vegetal lenhosa e herbácea, área urbana (representada por superfície impermeável ou solo exposto), recursos hídricos, bem como a seleção de pontos de coletas circundados por um buffer de 100 metros, espalhados por toda extensão de malha urbana de Recife, demonstrando os diferentes locais representando as classificações do gradiente de urbanização.

Figura 2: Representante da espécie *Camponotus crassus,* espécie focal do estudo.

Figura 3: Representação das medições dos atributos corporais utilizados como traços morfológicos dos indivíduos de *Camponotus crassus.*

Figura 4: Regressão linear do efeito da porcentagem de urbanização sobre a Tolerância térmica máxima (traço fisiológico) dos indivíduos de *Camponotus crassus* coletados ao longo do gradiente urbano definido dentro da malha urbana de Recife (PE).

Figura 5: Regressão linear do efeito da porcentagem de Urbanização sobre o tamanho da perna (traço morfológico) dos indivíduos de *Camponotus crassus* coletados ao longo do gradiente urbano definido dentro da malha urbana de Recife (PE).

Figura 6: Regressão linear do efeito da porcentagem de Urbanização sobre o tamanho da cabeça (traço morfológico) dos indivíduos de *Camponotus crassus*coletados ao longo do gradiente urbano definido dentro da malha urbana de Recife (PE).

Figura 7: Regressão linear do efeito da porcentagem de Urbanização sobre o tamanho da mandíbula (traço morfológico) dos indivíduos de *Camponotus crassus* coletados ao longo do gradiente urbano definido dentro da malha urbana de Recife (PE).

Figura 8: Regressão linear do efeito da porcentagem de Urbanização sobre o tamanho do olho (traço morfológico) dos indivíduos de *Camponotus crassus* coletados ao longo do gradiente urbano definido dentro da malha urbana de Recife (PE).

Figura 9: Regressão linear do efeito da porcentagem de Urbanização sobre o tamanho do clípeo (traço morfológico) dos indivíduos de *Camponotus crassus* coletados ao longo do gradiente urbano definido dentro da malha urbana de Recife (PE).

Tabela 1: Tabela contendo as informações e resultados das análises (valores de p) dos sete atributos corporais utilizados como traços morfológicos dos indivíduos de *Camponotus crassus.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14

2.1 Urbanização 14

2.2 Biologia térmica 16

2.3 Formigas como modelo de estudo 17

2.4 *Camponotus crassus* 18

3 OBJETIVO E PREDIÇÃO 19

4 METODOLOGIA 19

5 RESULTADOS 24

6 DISCUSSÃO 32

7 CONCLUSÃO 34

REFERÊNCIAS 35

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização é uma das principais causas de perda de hábitat e grande gerador de poluição do solo, da água e do ar, afetando o funcionamento dos ecossistemas e o bem-estar das populações humanas (GIPPET, 2016; PERFECTO, 2023). A construção de áreas urbanas também envolve a fragmentação dos ambientes originais e a impermeabilização do solo, fatores que geram a mudança no microclima com um aumento na temperatura nas áreas urbanas (GASTON, 2010). Os ambientes urbanos tornam-se propícios para espécies exóticas e espécies que conseguiram se adaptar às novas condições (GIPPET, 2016). No entanto, para espécies nativas, a urbanização gera um filtro ambiental no qual poucas espécies, mais adaptadas às novas condições impostas, conseguem persistir (GIPPET, 2016). Em quase todas as cidades, as formigasconstituem um grupo da fauna de artrópodes que está presente em todos os lugares, sendo importantes no estudo da ecologia das cidades (PERFECTO, 2023).

Muitos estudos têm ressaltado a importância da utilização da abordagem funcional para o entendimento dos efeitos das perturbações antrópicas sobre a distribuição das espécies (MCGILL et al. 2006, ARNAN et al. 2014). Isso porque quantificar as relações entre as condições do habitat e os traços funcionais representa o primeiro passo necessário para a determinação dos processos que governam a distribuição das espécies em escala local, regional e global, bem como as suas respostas às mudanças ambientais provocadas por perturbações (ARNANet al. 2014).

Em todos os seres vivos, a temperatura afeta um número imenso de processos e funções biológicas, como metabolismo, crescimento e movimento, sendo uma restrição abiótica de uma espécie em um ambiente (SINCLAIR, 2016; NASCIMENTO, 2022). Entender a biologia térmica de um organismo é importante para avaliar sua vulnerabilidade e sua distribuição no ambiente (ARNAN et al., 2015). A urbanização, com a impermeabilização do solo e a retirada de cobertura vegetal, potencializa os efeitos da temperatura, limitando a distribuição das espécies (DIAMOND et al., 2012). A determinação da tolerância fisiológica para mudanças de temperatura pode ser feita medindo os limites térmicos críticos do organismo, que são as temperaturas mínima e máxima que provocam espasmos ou levam à morte (NASCIMENTO, 2022). Um traço fisiológico bastante estudado é a tolerância térmica

máxima (TTM), que é a temperatura máxima na qual o organismo perde os movimentos ou vai a óbito quanto exposto a aumentos rápidos de temperatura (DIAMOND et al., 2012).

Tem sido descrito que atributos morfológicos são importantes para explicar a resposta das espécies às mudanças ambientais (ARNAN et al. 2012; WIESCHER et al. 2012; GIBB & PARR 2013). A maioria dos estudos que avaliaram como as características morfológicas das comunidades bióticas variam com perturbações foram conduzidos a nível de espécie (BAUDIER et al. 2015, SALAS-LÓPEZ 2017, ARNAN et al., 2018). Poucos estudos mostram como a morfologia de indivíduos das mesmas espécies varia ao longo de gradientes de perturbação como mecanismo de adaptação. Dentre os mecanismos de adaptação dos organismos às condições ambientais temos a plasticidade fenotípica, onde diferentes tipos de fenótipos são expressos de acordo com o ambiente, e genótipos podem mudar a morfologia dos indivíduos em resposta às condições ambientais (WEST-EBERHARD 1989).

A forma como os organismos diferem e a função em relação ao meio ambiente podem ser explicado pela plasticidade fenotípica (PEARCY 2007). Diante das perturbações antrópicas, como o processo de urbanização, a plasticidade pode proporcionar uma vantagem para muitas espécies (BEEVER et al. 2017). A plasticidade é um dos principais mecanismos de adaptação a curto prazo que ajuda as espécies a persistirem nos ambientes urbanos (GIENAPP et al. 2008).

As formigas estão entre os organismos terrestres mais diversos e abundantes na Terra e são altamente sensíveis às mudanças ambientais (HOLLDOBLER e WILSON, 1994). Além disso, desempenham um papel importante em muitos serviços ecossistêmicos básicos (BIHN et al., 2010; DEL TORO et al., 2012). Em particular, as formigas são contribuintes cruciais para a ciclagem e aeração do solo, decomposição da matéria orgânica, dispersão de sementes e proteção de plantas (DEL TORO et al., 2012). Formigas são ectotérmicas, ou seja, suas temperaturas corporais dependem da temperatura do meio externo, a qual influencia a maior partedos aspectos de sua biologia (PARR, 2022). Sendo assim, mudanças nas temperaturas ambientais, como em áreas urbanas, podem representar ameaças para esses seres (GIPPET, 2016). O estudo da biologia térmica dos organismos, como o de tolerância térmica, contribui para avaliar o quanto esses seres toleram mudanças de temperatura e possibilita prever as consequências disso para a espécie (GIPPET, 2016). As formigas são filogeneticamente diversas, especialmente

nos trópicos (HOLLDOBLER & WILSON, 1994), e seus traços morfológicos têm sido frequentemente usados para inferir serviços ecossistêmicos e suas respostas a perturbações antrópicas (WEISER & KASPARI, 2006; GIBB et al., 2015; PARR et al., 2017; SALAS-LÓPEZ, 2017). Os caracteres morfológicos podem mostrar características em relação à ecologia, comportamento e biologia do indivíduo (SANDIM, 2022).

O objetivo desse trabalho foi avaliar se os traços funcionais, como a tolerância térmica máxima e variações morfológicas da formiga *Camponotus crassus* respondem ao gradiente de urbanização possibilitando que essas formigas estejam presentes em todo o gradiente. A análise desse traço fisiológico e dos traços funcionais contribui para entender como esses organismos podem persistir em ambientes cada vez mais modificados pela ação antrópica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Urbanização

As atividades humanas podem afetar os ambientes mais complexos tornando-os mais simples e consequentemente afetando toda sua biodiversidade (CHAPIN et al., 2000; HOOPER et al., 2005). A alteração do equilíbrio de um ecossistema causada pela ação humana é denominada de perturbação antrópica (ALBUQUERQUE et al., 2018). Além disso, o processo de urbanização é a alteraçãode um ecossistema, com a retirada parcial ou completa de suas comunidadesvegetais originais, para comportar densas populações humanas e suas atividades (GIPPET, 2016). Nas últimas décadas, os ambientes urbanos têm crescido de forma acelerada, abrigando mais da metade da humanidade (PERFECTO, 2023; GRIMM, 2008). Em quase todos os ecossistemas, as mudanças climáticas e as demais perturbações antrópicas constituem ameaças à conservação da biodiversidade, havendo fortes indicativos de que as alterações no clima podem agravar os efeitos das outras perturbações (OLIVEIRA, 2019). A retirada da vegetação e a implantação de superfícies impermeáveis não apenas geram perda e fragmentação de hábitats, como também alteram características físicas do solo (como condutividade térmica e emissividade) e reduzem o resfriamento evaporativo (GIPPET, 2016).

Outras consequências da urbanização são a exposição dos ambientes remanescentes aos efeitos de borda, a introdução de espécies exóticas e as altas taxas de extinção de espécies locais, com frequência eliminando a maioria das espécies nativas (SANTOS, 2016; BUCZKOWSKI, 2012; PERFECTO, 2023).
Segundo Gaston (2010), no livro Urban Ecology, os sistemas urbanos são os principais responsáveis pela perda de hábitats, pela emissão de gases de efeito estufa e pela liberação de poluentes aquático, sendo também a principal fonte de invasões biológicas. A perda e a fragmentação têm efeitos sobre a diversidadebiológica em diferentes níveis de organização, como: (1) redução no número e no tamanho de populações de especialistas (eventualmente, até extinções locais), paralelo ao aumento daquelas adaptadas às perturbações em diferentes escalas espaciais (TABARELLI et al. 2012; LEAL et al. 2014); (2) mudanças na composição taxonômica, funcional e filogenética das assembleias nas escalas local e de paisagem (HELMUS et al. 2010; LEAL et al. 2012); (3) redução na riqueza de espécies e na diversidade funcional e filogenética das assembleias nas escalas locale de paisagem (LOPES et al. 2009; ARROYO-RODRIGUEZ et al. 2013); (4) aumento de similaridade taxonômica entre assembleias nas escalas de paisagem e regional (LÔBO et al. 2011); (5) alteração, inclusive colapso, de interações entre espécies na escala local (GIRAO et al. 2007; LEAL et al. 2014; LEAL; ANDERSEN; LEAL, 2014); e (6) mudanças nos padrões de fluxo e armazenamento de nutrientes (DE PAULA; COSTA; TABARELLI 2011).

O desempenho dos organismos no ambiente em que vivem pode ser influenciado por seus atributos funcionais mensuráveis (MCGILL et al., 2006). Esses atributos são características dos organismos que não apenas respondem ao ambiente de acordo com sua atividade e função, como também afetam os ecossistemas (HOOPER et al. 2005). Os organismos possuem muitas características funcionais, como: traços genéticos, fisiológicos, comportamentais,história de vida e morfológicos (VIOLLE et al. 2007; PODGAISKI et al. 2011). A perda da diversidade de espécies influencia em mudanças na diversidade funcional (CHAPIN et al. 2000). O aspecto morfológico é um traço muito importante e de fácil acesso para ser medido (YATES et al. 2014). A morfologia da asa, por exemplo, pode indicar a capacidade de dispersão e o tamanho do corpo pode indicar a distância da dispersão de sementes (ANGELO & SLANSKY JR, 1984; NORBERG, 2012; NESS et al. 2004).

2.2 Biologia térmica

Um dos fatores relevantes para entender a reestruturação da biota de ambientes urbanos é a temperatura, pois é um fator altamente variável no ambiente dos organismos, tanto no espaço quanto no tempo (DIAMOND et al., 2012). Em todos os seres vivos, a temperatura afeta uma quantidade imensa de processos biológicos, desde taxas de reações bioquímicas em funções celulares, até funções fisiológicas, como metabolismo, desenvolvimento, crescimento, movimento, sobrevivência e reprodução (SINCLAIR, 2016; NASCIMENTO, 2022). O processo de urbanização potencializa os efeitos da temperatura nos habitats e pode limitar a distribuição das espécies (DIAMOND et al., 2012). Esse fator abiótico gera consequências não apenas a nível de organismo, mas também a níveis de comunidade e de ecossistema (SINCLAIR, 2016). Dessa forma, o entendimento da biologia térmica das espécies é crucial para avaliações do desempenho, vulnerabilidade e distribuição dos organismos e dos serviços ecossistêmicos que promovem (ARNAN et al., 2015).

É possível determinar o valor da tolerância fisiológica de um organismo para variações de temperatura através da medição de seus limites térmicos críticos (Critical Thermal Limits - CTLs), que são as temperaturas mínima e máxima que provocam espasmos musculares ou levam à morte, sob condições controladas de laboratório (NASCIMENTO, 2022). Uma das características mais estudada parabiologia térmica é a tolerância térmica máxima (TTM), ou seja, a temperatura na qualos organismos morrem ou perdem a capacidade locomotora quando expostos a aumentos rápidos de temperatura (DIAMOND et al., 2012). A TTM é um traço fisiológico que pode estar associado tanto as respostas das espécies às mudanças ambientais, como aos seus efeitos ecossistêmicos, pois restringe os habitats, alterando o período de atividade e as interações com outras espécies ao longo do dia e do ano (TAMASHIRO et al. 2019). Uma vez que os limites fisiológicos térmicos também determinam o desempenho, atividade e comportamento dos organismos, em última instancia poderiam determinar a qualidade dos serviços ecossistêmicos oferecidos (TAMASHIRO et al. 2019). Essas modificações no habitat e na ocorrência e comportamento das espécies devido à urbanização alteram as interações ecológicas como polinização, dispersão de sementes e predação (MCKINNEY, 2008).

2.3 Formigas como modelo de estudo

As formigas (Hymenoptera: Formicidae) constituem o grupo mais diverso de insetos sociais (DEL TORO et al., 2012), com pelo menos 16.604 espécies válidas, distribuídas em 22 subfamílias e incluindo centenas de espécies fósseis (Antweb, 2023). Porém estima-se que a diversidade total ultrapasse 25.000 espécies (WARD, 2010). Na maioria dos hábitats, sua diversidade local é superior à de outros insetos sociais (SANTOS, 2016). As formigas têm um papel crucial nos ecossistemas, pois são um dos grupos de animais mais abundantes nos ecossistemas terrestres, podendo constituir até 15% da biomassa animal da maioria desses ecossistemas (LANGE, 2019). A população total de formigas é estimada em mais de 100 quatrilhões (115.000.000.000.000.000) de indivíduos e ocorrem em todos os continentes, exceto nos polos e nos topos de montanhas eternamente congelados (HOLLDOBLER; WILSON, 1994).

Com toda essa conspicuidade, as formigas são consideradas os organismos ecologicamente dominantes de ecossistemas terrestres, com papéis ecológicos importantes como predação, herbivoria, dispersão de sementes (LACH et al., 2010). Desempenham um papel importante na predação de artrópodes herbívoros (SEIFERT et al., 2016) além de serem consideradas engenheiras do ecossistema, alterando as propriedades bióticas e abióticas do ambiente em que vivem e influenciando a ocorrência de outras espécies com as quais coocorrem (FOLGARAIT, 1998). Os papéis abióticos que realizam são formação da estrutura dosolo, aeração do solo, ciclagem de nutrientes e decomposição (DEL TORO et al., 2012). As formigas são muito usadas como bioindicadoras de mudanças ambientais,pois estão presentes em diferentes níveis tróficos e são fáceis de ser coletadas e identificadas (MAJER 1983; DEL TORO et al., 2012). SALAS-LÓPEZ (2017)
verificou que a morfologia pode ser utilizada para analisar a autoecologia das espécies de diferentes tipos de habitats, reforçando o uso das características morfológicas das formigas como bioindicadores. Apresentam diferentes tipos demorfologias e essas morfologias podem estar associadas a diferentes adaptações ambientais, ao uso dos recursos e aos serviços ecossistêmicos (WEISER & KASPARI 2006; ARNAN et al., 2012; GIBB & PARR 2013; GIBB et al. 2015). Traços
morfológicos estão diretamente ligados com o tipo de exploração para diferentes tipos de recursos e com o habitat (GIBB et al. 2015, SALAS-LÓPEZ, 2017).

Nos últimos vinte anos, o foco das publicações sobre formigas em meios urbanos mudou de formigas como pragas para temas como diversidade, mudanças climáticas e espécies invasoras, examinando formigas de habitats variados, desde quintais e jardins até fragmentos em áreas urbanas (PERFECTO, 2023). As assembleias de formigas são um modelo de estudo ideal para examinar as relações entre atributos-ambiente, uma vez que elas variam em composição ao longo de gradientes ambientais (GOTELLI & ELLISON, 2002; ARNAN et al., 2012). GIBB et al. (2015) viram que os aspectos morfológicos das formigas podem ser utilizados para fazer previsões sobre suas funções, juntamente com o status trófico e o uso do seu habitat e que muitas características são influenciadas pelo meio ambiente.

2.4 Camponotus crassus

O gênero Camponotus tem ampla distribuição na América do Sul e é um dos maiores e mais diversos gêneros de formigas encontrados em todo o mundo, incluindo 1.085 espécies (AntWeb, 2023). *Camponotus crassus* é uma espécie amplamente distribuída, endêmica da região biogeográfica neotropical, maisespecificamente da América do Sul, encontrada na Argentina, Brasil, Colômbia,Panamá, Paraguai, Peru, Trindade e Tobago (AntWeb, 2023). *C. crassus* também é encontrada em vários hábitats, como no Cerrado, na Amazônia, na Caatinga e no Pantanal (LANGE, 2019; FARIA, 2021; SILVA, 2020; SANTOS et al., 2020). É uma
formiga generalista, potencial polinizadora e comumente encontrada alimentando-se de néctar extrafloral (FARIA, 2021; MOURA, 2022). Comumente encontrada nos hábitats de floresta estacional semidecídua, quintais em áreas urbanas, vegetação litorânea, restinga, plantações de cacau, banana, café e em agroflorestas (AntWeb, 2023; DO AMARAL, 2021). Além disso, também é encontrada em áreas urbanas, como parques e jardins (ROCHA, et al., 2017). É considerada uma espécie generalista em relação à sua dieta, alimentando-se de uma variedade de alimentos, como néctar, frutas, sementes e pequenos insetos (SANTOS, 2016). *C. crassus* é forrageadora diurna, territorialista e agressiva, com operárias patrulhando a área em busca de outras formigas para atacar e defender seu território e as plantas das quais se alimentam (ANJOS, 2017; LANGE, 2019; CALIXTO, 2021). Quanto à sua distância de forrageamento em comparação com outras espécies do gênero Camponotus, *C. crassus* tende a permanecer mais próxima de seu ninho (LANGE,

2019). Estudos recentes ressaltam sua importância na dispersão de sementes de plantas nativas em áreas urbanas (ROCHA, et al., 2017) e na manutenção da estruturação de comunidades de formigas em áreas naturais (SANTOS, 2016).

3 OBJETIVO E PREDIÇÃO

O objetivo desse trabalho foi investigar se os traços funcionais morfológicos e fisiológicos da formiga *Camponotus crassus* são relacinados com o gradiente de urbanização, funcionando como adaptação da espécie a viver em meio urbano. Fizemos a predição de que em áreas com maior porcentagem de urbanização as formigas apresentam maior tolerância térmica e atributos morfológicos que permitam suportar superfícies mais quentes encontradas nessas áreas (e.g. pernas mais longas).

.

4 METODOLOGIA

Gradiente Urbano

A cidade de Recife (8º 04’ 03’’ s, 34º 55’ 00’’ w), capital do Estado de Pernambuco, está situada a 4 metros acima do nível do mar, apresenta climatropical-úmido, área de 217,01km² e uma população de 1.599.513 habitantes (Site da Prefeitura do Recife). Os experimentos foram realizados dentro da malha urbana contínua de Recife, a qual foi delimitada utilizando como referência a ferramenta *basemap* do software ArcGIS 10.6. Para isso, identificamos a borda entre edificações e outras superfícies impermeáveis e a zona rural municipal. Em seguida, realizamos o mapeamento da cobertura do solo da mancha urbana municipal 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. Identificamos as classes: vegetação lenhosa, vegetação herbácea e cobertura urbana. Dessa forma, obtivemos o mapa de cobertura do solo da malha urbana de Recife (Figura 1). A partir do mapa de cobertura do solo, definimos um grid com quadrículas de 1km de lado espalhados por toda extensão da mancha

urbana contínua de Recife. Em cada vértice do grid foi definido um ponto (total de 156 pontos) com um buffer de 100 metros de raio do qual extraímos os valores de porcentagem urbana para formar um gradiente de urbanização. Foram escolhidos 24 sítios amostrais com diferentes porcentagem de área urbana, nos quais buscamos colônias da espécie *Camponotus crassus* (Figura 2). Medimos a temperatura do solo no local da colônia e a temperatura do solo a 20 metros de distância da colônia utilizando um termômetro digital culinário, e coletamos indíviduos de *C. crassus* em cada sítio amostral, sendo 10 indivíduos e 1 indivíduo controle por colônia. As coletas foram feitas entre Setembro de 2022 e Fevereiro de 2023. Coletamos um total de 264 indivíduos (240 formigas para o experimento e 24 formigas controle) de *Camponotus crassus* dentro dos 24 sítios amostrais que utilizamos como gradiente de urbanização. Os locais de coleta distribuíram-se nos bairros da Cidade Universitária, Várzea e Dois Irmãos, em Recife.

Figura 1: Mapa da cobertura de solo de Recife.

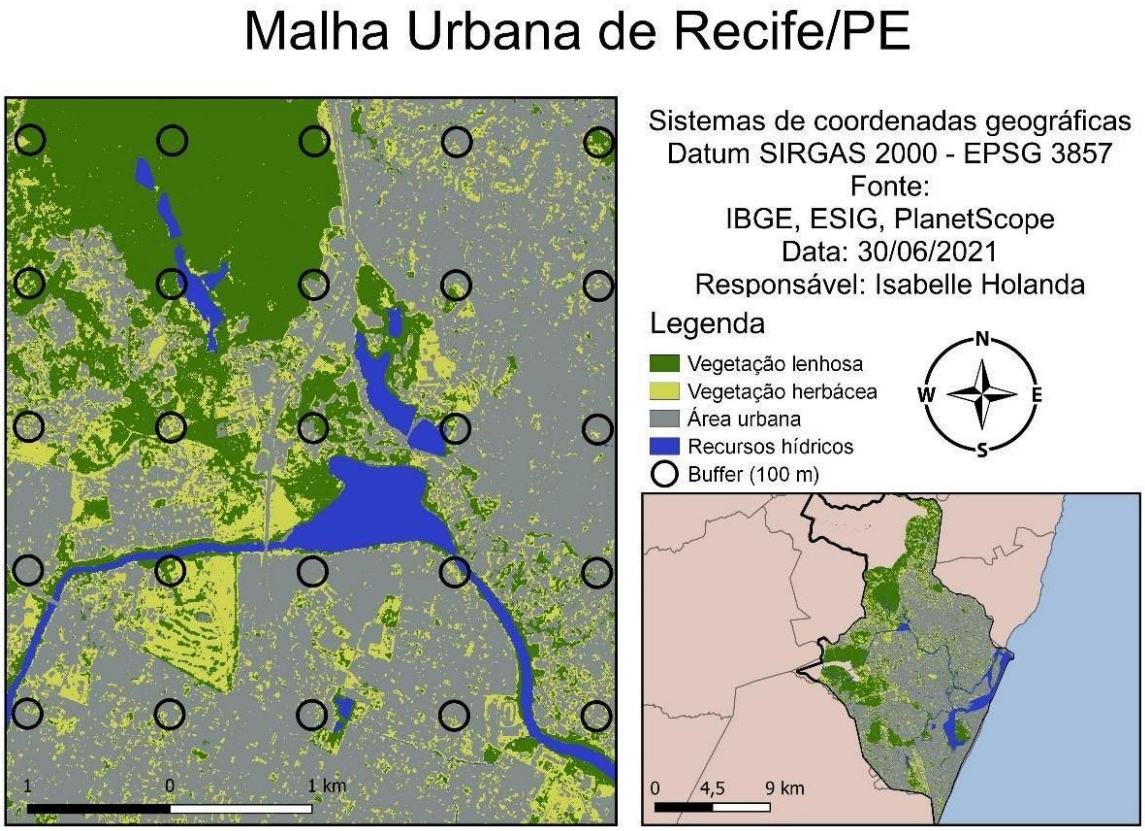


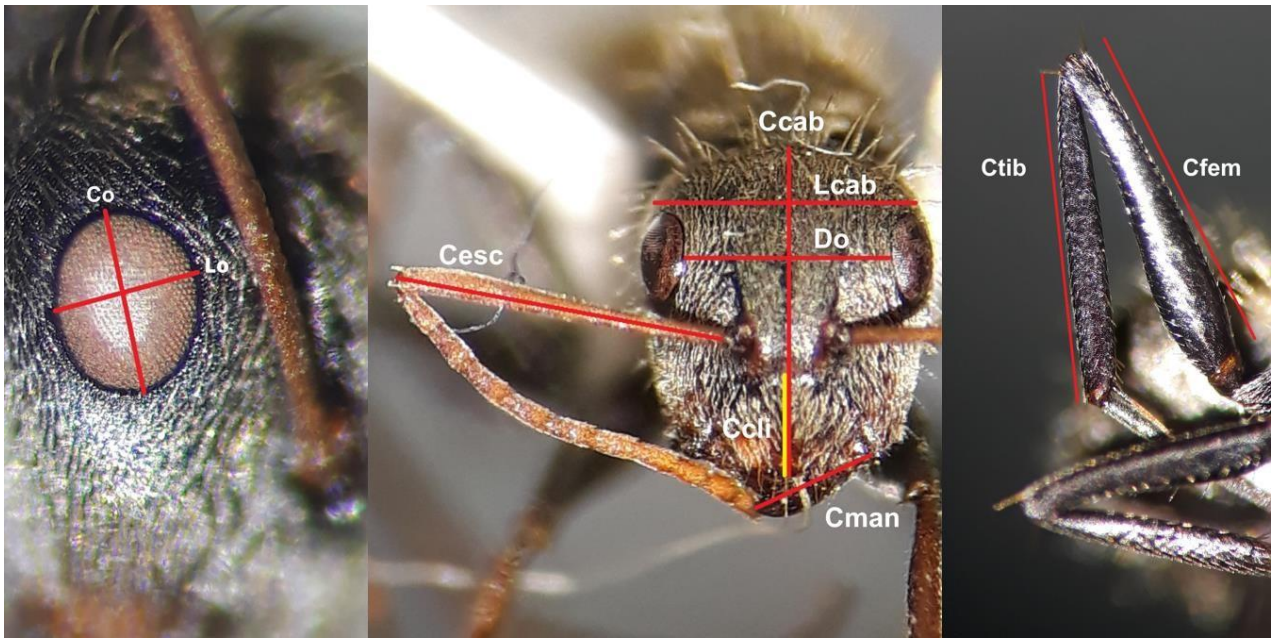
Figura 2: Representante da espécie *Camponotus crassus.*

Procedimento experimental

A tolerância térmica máxima (TTM) como traço fisiológico foi determinada no máximo 4 horas após a coleta ativa manual dos indivíduos em campo. Foram coletados dentro das 24 áreas do gradiente urbano, dentro do período que observamos maior atividade de forrageamento (9h – 14h), 10 indivíduos (+1 controle) de operárias de *C. crassus* com tamanhos semelhantes. As formigas controle foram coletadas para nos certificarmos de que as formigas permaneceriam vivas nos tubos de microcentrífuga fora da máquina de TTM, durante todo o tempo do experimento de tolerância térmica, uma vez que poderiam morrer por estresse dentro do tubo. As formigas foram coletadas de forma ativa e manual, cada formiga

sendo colocada em um tubo de microcentrífuga de 1,5ml, e levadas para o laboratório. No laboratório fechamos cada tubo de microcentrífuga com algodão umedecido. Para o experimento de tolerância térmica, utilizamos a máquina Thermal-Lok 2-Position Dry Heat Bath, da marca USA Scientific. Os indivíduos coletados no dia foram então colocados a uma temperatura inicial de 30°C na máquina, e a temperatura foi aumentada a 1°C a cada cinco minutos até a morte de 100% dos indivíduos. Ao final de cada etapa de cinco minutos, checamos a sobrevivência das formigas e anotamos a temperatura na qual observou-se a morte ou a perda da coordenação muscular dos indivíduos. As medições morfológicas como traço morfológico foram feitas em todos os 240 indivíduos que usamos anteriormente na determinação da TTM. Medimos os seguintes traços morfológicos (Figura 3): (1) tamanho da cabeça como uma medida representante do tamanho do corpo (Ccab e Lcab sendo comprimento e largura da cabeça) e (2) tamanho relativo das pernas como a razão entre o comprimento da perna (Cfem e Ctib, comprimento do fêmur somado ao comprimento da tíbia) e o comprimento da cabeça. Essestraços fornecem informações sobre adaptações nas estratégias de forrageamento influênciado pelo aumento da temperatura pois estão relacionados com a capacidade de deslocamento das formigas (ARNAN et al. 2015). (3) tamanho do clípeo (Ccli – comprimento do clípeo), (4) tamanho da mandíbula (Cman – comprimento da mandíbula) que estão ligados a perda de água (WEISER & KASPARI, 2006; DAVIDSON et al., 2004). (5) tamanho da antena (Cesc – comprimento do escapo), (6) tamanho dos olhos (calculado com o comprimento e a largura do olho, representados por Co e Lo), traços que indicam informações relacionado com a capacidade de perceber o ambiente (WEISER & KASPARI,2006). Por fim, (7) posição dos olhos (distância entre os olhos, representada por Do) que está relacionado com a predação, pois uma maior distância entre os olhos é mais característico em predadores visuais (FOWLER et al. 1991).

Figura 3: Representação das medições dos atributos corporais.



Ánalises de dados

Ultilizamos uma análise de regressão linear simples para avaliar o efeito da urbanização (porcentagem de área urbana) sobre a tolerância térmica máxima (traço fisiólogico) e sobre as variações nos tamanhos dos atributos corporais: antena, cabeça, clipeo, mandibula, olho e perna (traços morfológicos) dos indivíduos de *Camponotus crassus* (tabela 1). Todas as análises foram conduzidas no programa R Development Core Team, 2022. Determinamos a porcentagem de área urbana (%Urb) como variável explicativa e a tolerância térmica máxima (TTM), bem como asvariações morfológicas dos atributos corporais, como variáveis respostas.

5 RESULTADOS

Em relação à tolerância térmica máxima como traço fisiológico de *C. crassus*, a maior temperatura registrada que levou à morte do indivíduo foi de 51°C (indivíduo coletado em um sítio com 80% de urbanização) e a menor temperatura foi de 32°C (indivíduo coletado em um sítio com 57% de urbanização). O sítio mais urbanizado dentro do gradiente apresentou 80% de área urbana e o menos urbanizado apresentou 0% de área urbana. A maior temperatura do solo registrada foi de 38,6ºC (sítio com 80% de urbanização) e a menor foi de 21,3ºC (7% de urbanização). A

tolerância térmica máxima e todos os atributos morfológicos com exceção da antena mostraram resultados significativos (Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 e Tabela 1). Ou seja, à medida que a porcentagem de urbanização aumenta nas áreas de coleta, os indivíduos de *C. crassus* apresentaram TTM mais alta (Figura 4), bem como modificações nos atributos corporais: como maior tamanho da perna (Figura 5), cabeça (Figura 6), mandíbula (Figura 7), olho (Figura 8) e clípeo (Figura 9). O gráfico representado pelo tamanho da perna demonstra que nas áreas mais urbanizadas os indivíduos de *Crassus* apresentaram pernas maiores (Figura 5). Apenas o tamanho da antena não apresentou relação com o gradiente de urbanização (Tabela 1).

Figura 4: Gráfico da regressão linear do efeito da porcentagem de urbanização sobre a tolerância térmica máxima (TTM).

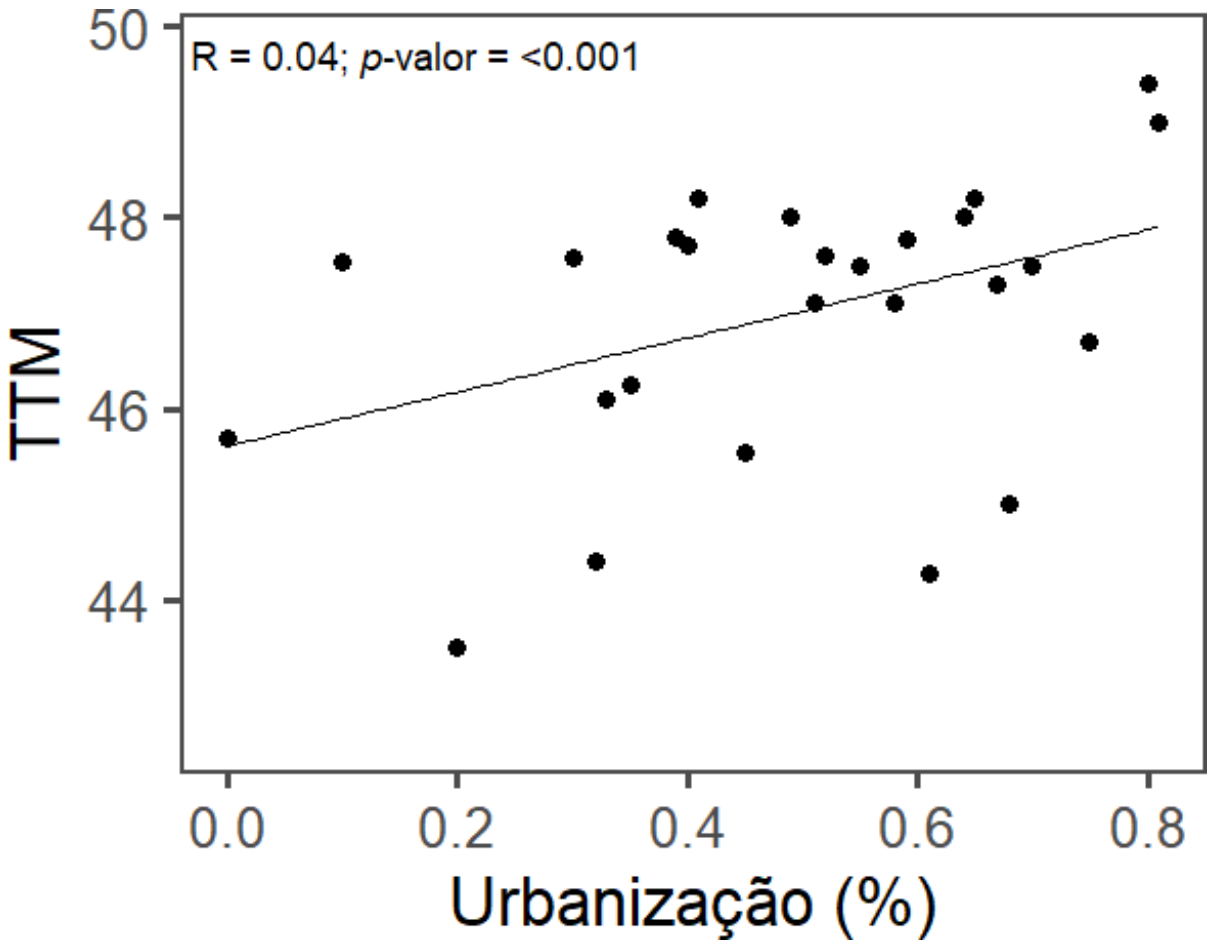


Figura 5: Gráfico da regressão linear do efeito da porcentagem de Urbanização sobre o tamanho da perna (traço morfológico).

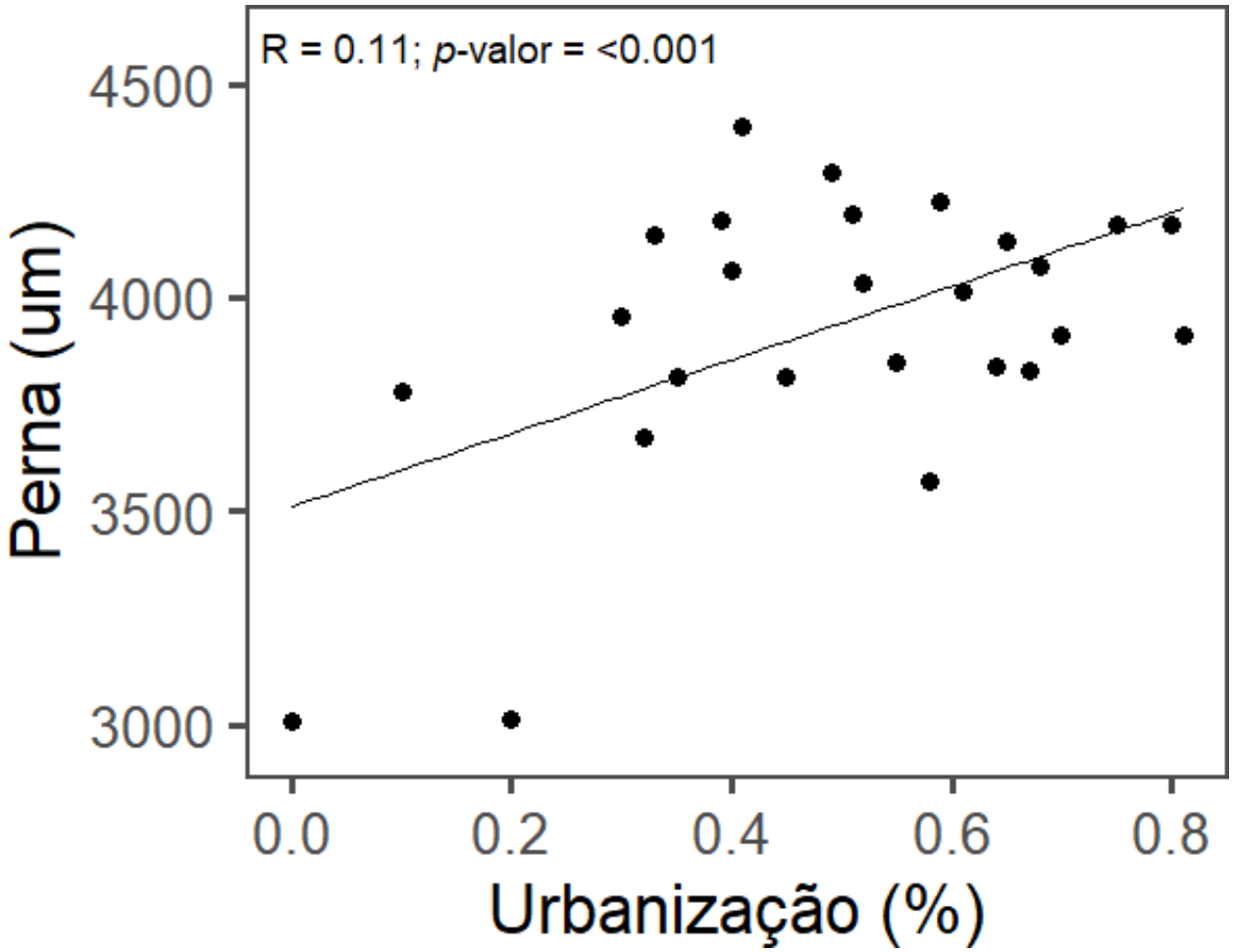


Figura 6: Gráfico da regressão linear simples do efeito da porcentagem de urbanização sobre o tamanho da cabeça (traço morfológico).

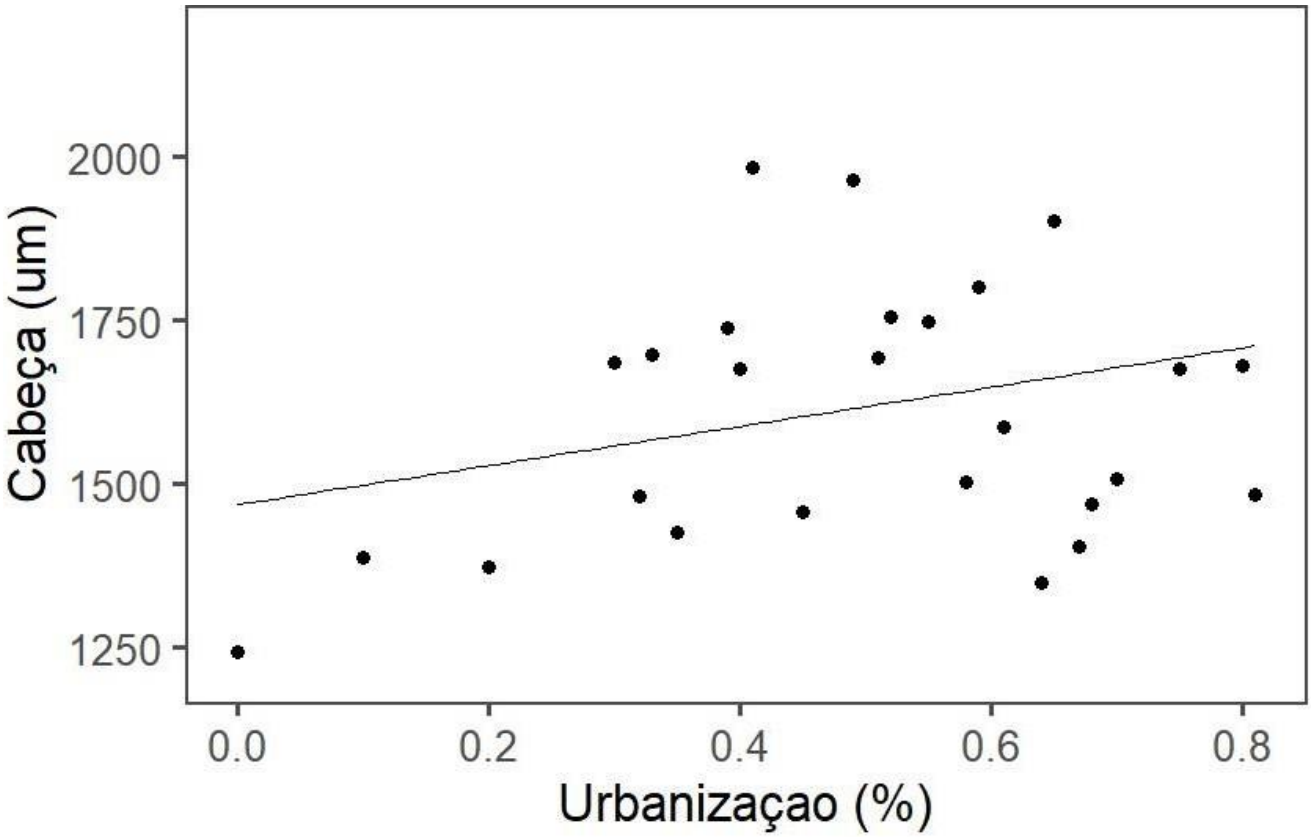


Figura 7: Gráfico da regressão linear simples do efeito da porcentagem de urbanização sobre o tamanho da mandíbula (traço morfológico).

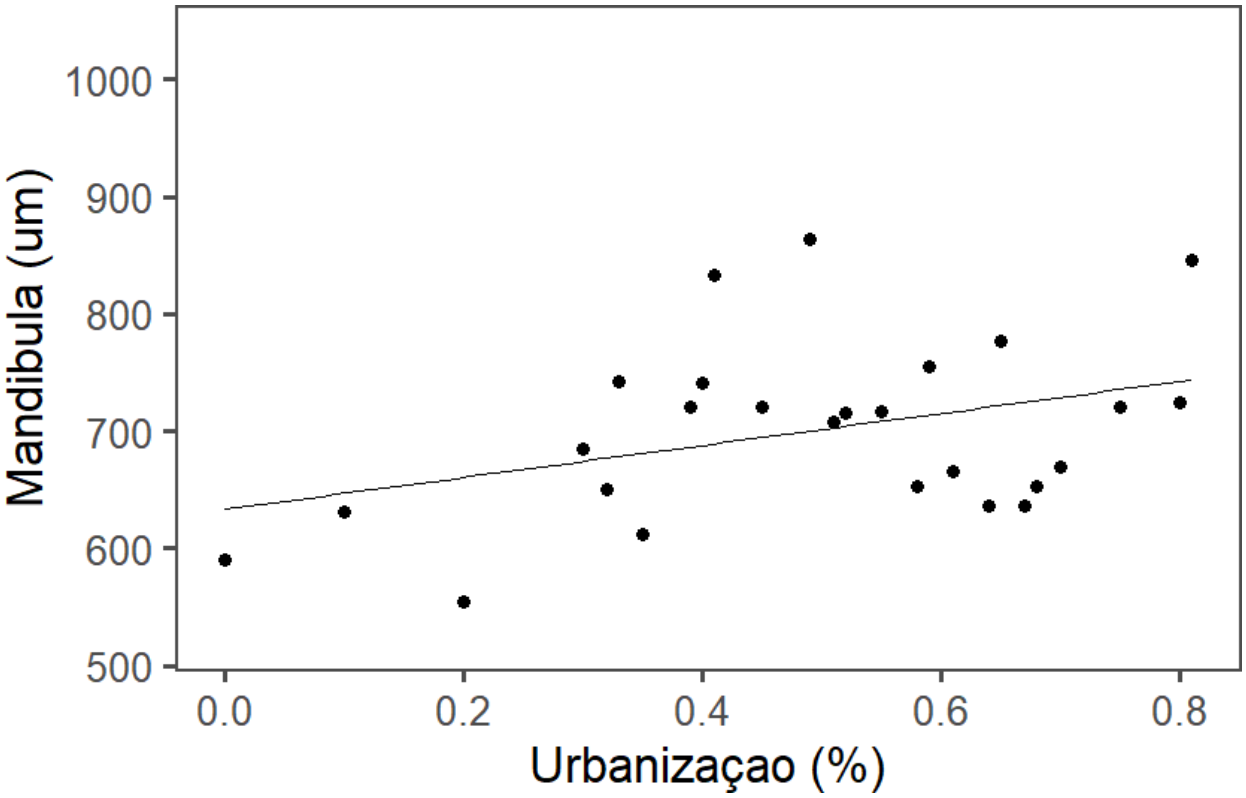


Figura 8: Gráfico da regressão linear simples do efeito da porcentagem de urbanização sobre o tamanho do olho (traço morfológico).

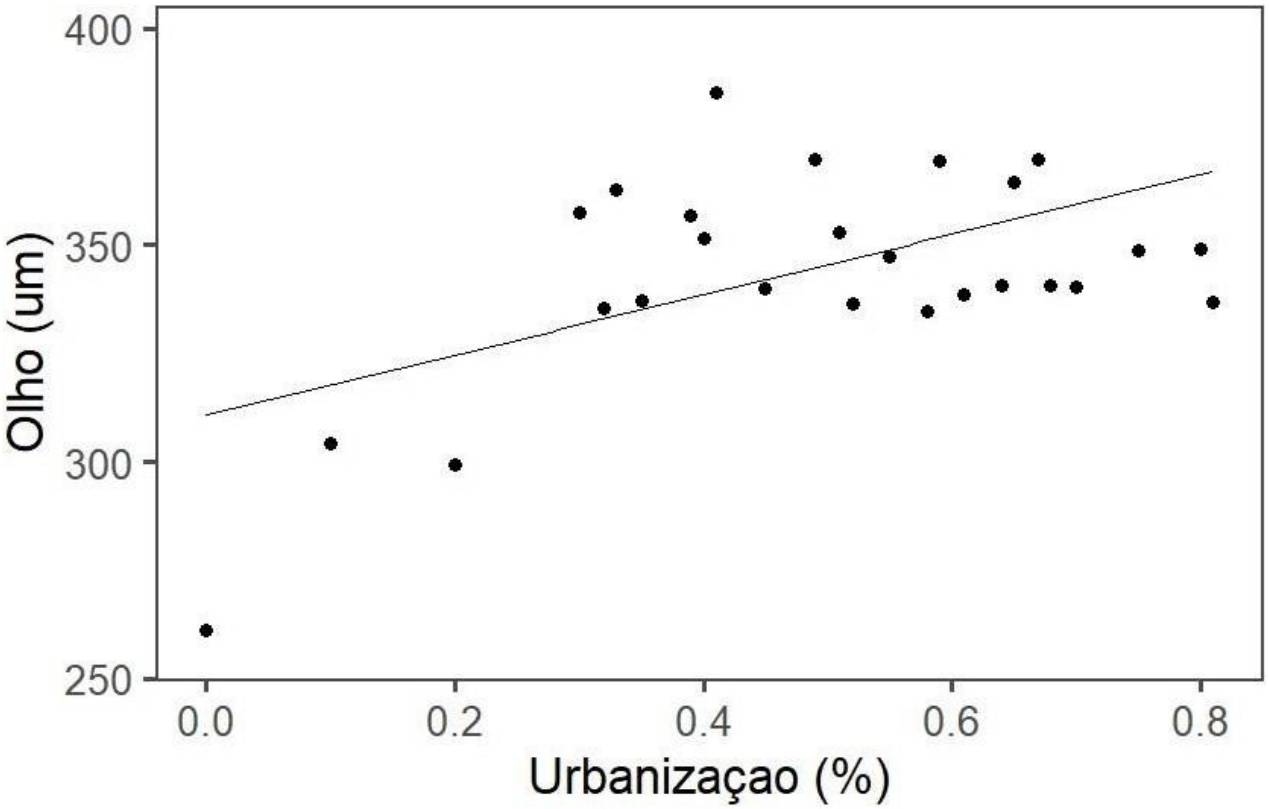


Figura 9: Gráfico da regressão linear simples do efeito da porcentagem de urbanização sobre o tamanho do clípeo (traço morfológico).

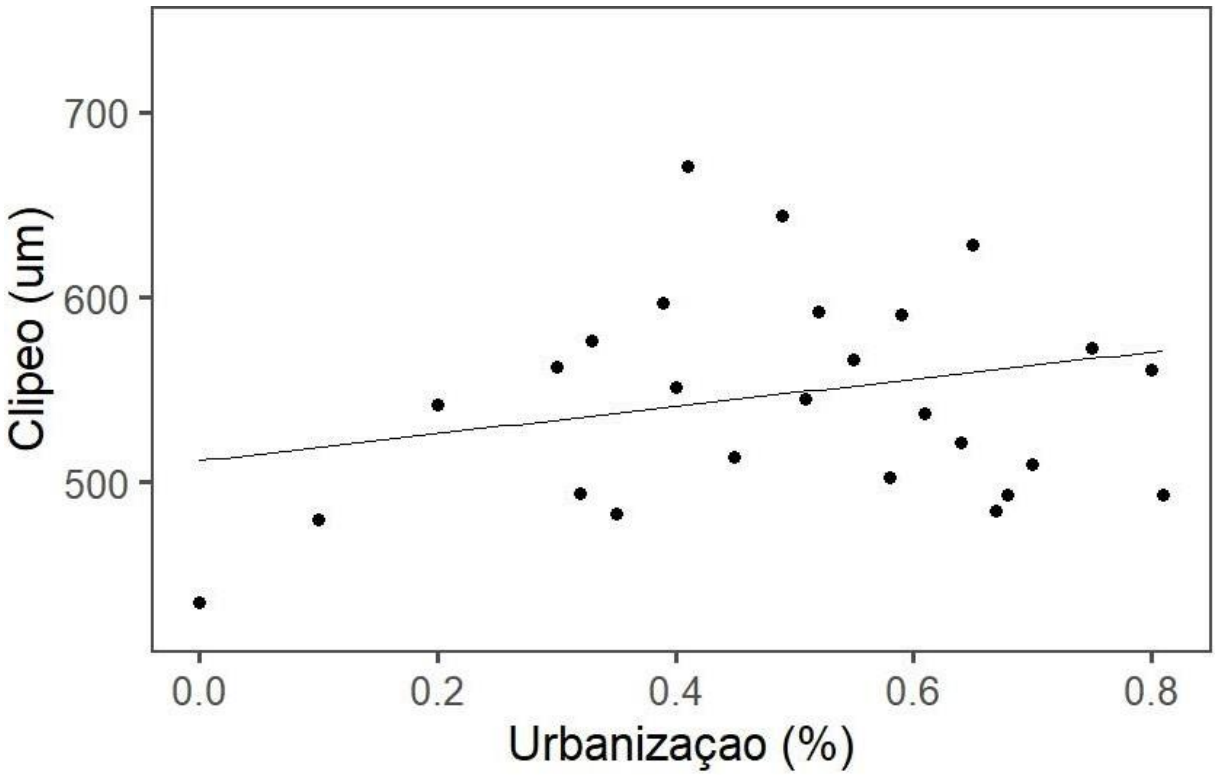


Tabela 1: Valores de p dos sete atributos corporais.

Traço morfológico	**Valor de p**
Tamanho da cabeça	p-value = 0.006
Tamanho do clípeo	p-value = 0.029
Tamanho da mandíbula	p-value < 0.001
Tamanho do olho	p-value < 0.001
Distância entre os olhos	p-value < 0.001
Tamanho da perna	p-value < 0.001
Tamanho da antena	p-value = 0.113

6 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que as mudanças nos habitats associadas às áreas urbanas influenciam em alguns traços funcionais (traço fisiológico de tolerância térmica máxima e traços morfológicos) da espécie de formiga *Camponotus crassus*. Os habitats mais urbanizados são caracterizados com uma

maior temperatura no solo devido a maior absorção e retenção dos raios solares como consequência da presença de concreto. Estudos sobre biologia térmica relatam que de fato a temperatura é um fator extremamente importante na fisiologia e comportamento das espécies, sobretudo nas espécies caracterizadas como ectotérmicas, como o caso das formigas. O tamanho da perna representa o deslocamento das formigas, a porcentagem de solo impermeável influencia no aumento da temperatura, que está relacionada diretamente com a capacidade de deslocamento das formigas.

Nesse estudo vimos que a tolerância térmica máxima de *C. crassus* é influenciada pela porcentagem de urbanização das áreas de coletas. Os indivíduos com maior tolerância foram encontrados nas áreas mais urbanizadas do gradiente urbano, corroborando com nossa predição. *C. crassus* é considerada uma espécie generalista distribuída em uma grande variedade de habitats inclusive em áreas urbanas, como parques e jardins (ROCHA, et al., 2017). Além de sua vasta distribuição, estudos apontam que *C. crassus* é altamente adaptável apresentando um comportamento territorialista, com operárias patrulhando em busca de outras formigas para atacar e defender seu território (LANGE, 2019). O comportamento de forrageamento dessa espécie também é flexível, pois os indivíduos são capazes de mudar rapidamente suas estratégias de busca de alimento em resposta a mudanças no ambiente (SANTOS, 2016). Essas informações sugerem que o sucesso de distribuição geográfica dessa espécie em diferentes complexidades de habitats pode estar relacionado a uma alta plasticidade como estratégia de adaptação (BAUDIER et al., 2015). No caso da temperatura encontramos um padrão que sugere uma adaptação dessas formigas de acordo com porcentagem de superfície impermeável do habitat que resulta no aumento da temperatura.

Com exceção da antena, todos os traços morfológicos foram influenciados pela porcentagem de urbanização. Em áreas mais urbanas os indivíduos apresentaram perna, cabeça, clípeo, mandíbula e olho maiores em relação aos indivíduos de áreas com menor porcentagem de urbanização, o que confirma a nossa predição. Esses resultados estão em consonância com trabalhos que indicam que em áreas com maior grau de perturbação antrópica, deixando a área mais aberta (MOURA et al. 2007, MMA 2008, ARNAN et al., 2018), geram condições propícias a encontrar formigas com pernas maiores, o que ajudaria na locomoção e na tolerância ao calor (PEARCE-DUVET, et al. 2011; SOMMER & WEHNER, 2012).

Também na literatura encontramos que estudos envolvendo mudanças morfológicas nos indivíduos podem ser explicadas de acordo com a complexidade do ambiente e a exploração dos recursos utilizados por eles (SARTY et al. 2006, GIBB & PARR 2010, 2013).

7 CONCLUSÃO

Este estudo sugere que as formigas da espécie *Camponotus crassus* podem alterar sua fisiologia como a capacidade de aumentar sua tolerância térmica e aumentar de tamanho alguns atributos morfológicos em resposta a mudanças ambientais relacionada a urbanização como o aumento da temperatura do solo. Aqui consideramos apenas um dos fatores que é a porcentagem de área urbana, porém existem vários que alteram a complexidade dos habitats urbanos que provavelmente podem estar influenciando as respostas das espécies encontradas na fauna urbana como adaptações.

Neste estudo focamos na *C. crassus* que é considerada como vencedora nos mais diversos tipos de habitats. Entender o comportamento bem como a fisiologia de espécies adaptáveis em qualquer cenário trazem informações valiosas sobre o sucesso da distribuição e as adaptações de organismos que passam pela transição de mudanças ocasionadas pelos humanos. Ressaltamos a importância de utilizar formigas como modelo de estudo em áreas urbanas pois essas são tidas como bioindicadores de mudanças ambientais. Além disso as várias interações com o meio ambiente e com outros organismos solidifica o papel das formigas na provisão de serviços ecossistêmico que são cada vez mais importantes em ecossistemas urbanos. *Camponotus crassus* tem sido apontada como uma espécie importante para a manutenção da biodiversidade em ecossistemas naturais e urbanos. Estudos recentes indicam que essa espécie é importante na dispersão de sementes de plantas nativas em áreas urbanas (ROCHA et al., 2017) e na manutenção da estruturação de comunidades de formigas em áreas naturais (SANTOS, 2016).

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Ulysses Paulino et al. Humans as niche constructors: Revisiting the concept of chronic anthropogenic disturbances in ecology. **Perspectives in Ecology and Conservation,** v. 16, n. 1, p. 1-11, 2018.

ANGELO, Mary Jane; SLANSKY JR, Frank. Body building by insects: trade-offs in resource allocation with particular reference to migratory species. **Florida Entomologist**, p. 22-41, 1984.

ANJOS, Diego V. et al. Extrafloral-nectaries and interspecific aggressiveness regulate day/night turnover of ant species foraging for nectar on Bionia coriacea. **Austral Ecology**, v. 42, n. 3, p. 317-328, 2017.

AntWeb. Versão 8.87. Academia de Ciências da Califórnia, disponível em: https://www.antweb.org. Acesso em 12 de abril de 2023.

ARNAN, Xavier; CERDÁ, Xim; RETANA, Javier. Distinctive life traits and distribution along environmental gradients of dominant and subordinate Mediterranean ant species. **Oecologia**, v. 170, p. 489-500, 2012.

ARNAN, Xavier; CERDÁ, Xim; RETANA, Javier. Ant functional responses along environmental gradients. **Journal of Animal Ecology**, v. 83, n. 6, p. 1398-1408, 2014.

ARNAN, Xavier; BLÜTHGEN, Nico. Using ecophysiological traits to predict climatic and activity niches: lethal temperature and water loss in M editerranean ants. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 12, p. 1454-1464, 2015.

ARNAN, Xavier et al. Thermal characterization of European ant communities along thermal gradients and its implications for community resilience to temperature variability. **Frontiers in ecology and evolution**, v. 3, p. 138, 2015.

ARNAN, X.; ARCOVERDE G.B.; PIE M.R.; RIBEIRO-NETO J.D. & LEAL I.R. Increased anthropogenic disturbance and aridity reduce phylogenetic and functional diversity of ant communities in Caatinga dry forest. **Science of the Total Environment**, 631-632, 429-438. 2018.

ARNAN, Xavier et al. A framework for deriving measures of chronic anthropogenic disturbance: surrogate, direct, single and multi-metric indices in Brazilian Caatinga. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 274-282, 2018.

ARROYO-RODRÍGUEZ, Víctor et al. Plant β-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 6, p. 1449-1458, 2013.

BAUDIER, Kaitlin M. et al. Microhabitat and body size effects on heat tolerance: implications for responses to climate change (army ants: Formicidae, Ecitoninae). **Journal of Animal Ecology**, v. 84, n. 5, p. 1322-1330, 2015.

BEEVER, Erik A. et al. Behavioral flexibility as a mechanism for coping with climate change. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 6, p. 299-308, 2017.

BIHN, Jochen H.; GEBAUER, Gerhard; BRANDL, Roland. Loss of functional diversity of ant assemblages in secondary tropical forests. **Ecology**, v. 91, n. 3, p. 782-792, 2010.

BUCZKOWSKI G, RICHMOND D.S. The Effect of Urbanization on Ant Abundance and Diversity: A Temporal Examination of Factors Affecting Biodiversity. **PLoS ONE** 7(8): e41729, 2012. DOI https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041729

CALIXTO, Eduardo Soares; LANGE, Denise; DEL-CLARO, Kleber. Net benefits of a mutualism: influence of the quality of extrafloral nectar on the colony fitness of a mutualistic ant. **Biotropica**, v. 53, n. 3, p. 846-856, 2021.

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

DEL TORO, Israel; RIBBONS, Relena R.; PELINI, Shannon L. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 17, n. 0, p. 133-46, 2012.

DE PAULA, Mateus Dantas; COSTA, Cecília Patrícia Alves; TABARELLI, Marcelo. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: the role played by edge-affected habitats and emergent trees. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 349-358, 2011.

DIAMOND, Sarah E. et al. A physiological trait-based approach to predicting the responses of species to experimental climate warming. **Ecology**, v. 93, n. 11, p. 2305-2312, 2012.

DO AMARAL, Gustavo Correiro; VARGAS, André Barbosa; ALMEIDA, Fabio Souto. Avaliação das Interações da Fauna de Formigas em Diferentes Usos do Solo. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 1, 2021.

FARIA, Italo Aleixo. **Polinização por formigas em microstachys serrulata (Mart,. & Zucc.) müll. arg. (Euphorbiaceae) no Cerrado.** 2021. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. DOI http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.396.

FOLGARAIT, Patricia J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. **Biodiversity & Conservation**, v. 7, p. 1221-1244, 1998.

GASTON, Kevin J. (Ed.). Urban ecology. **Oxford University Press**, 2010.

GIBB, Heloise; PARR, Catherine L. How does habitat complexity affect ant foraging success? A test using functional measures on three continents. **Oecologia**, v. 164, p. 1061-1073, 2010.

GIBB, Heloise; PARR, Catherine L. Does structural complexity determine the morphology of assemblages? An experimental test on three continents. **PLoS One**, v. 8, n. 5, p. e64005, 2013.

GIBB, H.; STOKLOSA, J.; WARTON, D.; BROWN, A.; ANDREW, N.; CUNNINGHAM, S. Does morphology predict trophic position and habitat use of ant species and assemblages? **Oecologia** 177: 519–531. 2015.

GIENAPP, Phillip et al. Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses. **Molecular ecology**, v. 17, n. 1, p. 167-178, 2008.

GIPPET, Jérôme MW 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.

GIRAO, Luciana Coe et al. Changes in tree reproductive traits reduce functional diversity in a fragmented Atlantic forest landscape. **Plos one**, v. 2, n. 9, p. e908, 2007.

GOTELLI, Nicholas J.; ELLISON, Aaron M. Assembly rules for New England ant assemblages. **Oikos**, v. 99, n. 3, p. 591-599, 2002.

GRIMM, Nancy B. et al. Global change and the ecology of cities. **Science**, v. 319, n. 5864, p. 756-760, 2008.

HELMUS, Matthew R. et al. Communities contain closely related species during ecosystem disturbance. **Ecology letters**, v. 13, n. 2, p. 162-174, 2010.

HOLLDOBLER, Bert; WILSON, Edward O. Journey to the ants: a story of scientific exploration. **Belknap Press of Harvard University Press**, 1994.

HOOPER, David U. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. **Ecological monographs**, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005.

LACH, Lori; PARR, Catherine; ABBOTT, Kirsti (Ed.). Ant ecology. **Oxford university press**, 2010.

LANGE, Denise et al. Natural history and ecology of foraging of the Camponotus crassus Mayr, 1862 (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Natural History**, v. 53, n. 27-28, p. 1737-1749, 2019.

LEAL, Inara R. et al. Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, p. 1687-1701, 2012.

LEAL, Inara R.; WIRTH, Rainer; TABARELLI, Marcelo. The multiple impacts ofleaf-cutting ants and their novel ecological role in human-modified neotropical forests. **Biotropica**, v. 46, n. 5, p. 516-528, 2014.

LEAL, Laura C.; ANDERSEN, Alan N.; LEAL, Inara R. Anthropogenic disturbance reduces seed-dispersal services for myrmecochorous plants in the Brazilian Caatinga. **Oecologia**, v. 174, p. 173-181, 2014.

LÔBO, Diele et al. Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 2, p. 287-296, 2011.

LOPES, Ariadna Valentina et al. Long-term erosion of tree reproductive trait diversity in edge-dominated Atlantic forest fragments. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1154-1165, 2009.

MAJER, J. D. Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. **Environmental management**, v. 7, p. 375-383, 1983.

MCGILL, Brian J. et al. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in ecology & evolution**, v. 21, n. 4, p. 178-185, 2006.

MCKINNEY, Michael L. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. **Urban ecosystems**, v. 11, p. 161-176, 2008.

MMA (Ministério do Meio Ambiente); IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente). Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite acordo de cooperação técnica MMA / IBAMA: monitoramento do bioma Caatinga 2008 a 2009. IBAMA/ MMA, Brasília. 2011. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/arquivos-biomas/relatoriofinal_cerrado_2008_2009_72.pdf. Acesso em: 27 de abril de 2023.

MOURA, Renan Fernandes; COUTO, Cynthia Martins Villar; DEL-CLARO, Kleber. Ant nest distribution and richness have opposite effects on a Neotropical plant with extrafloral nectaries. **Ecological Entomology**, v. 47, n. 4, p. 626-635, 2022.

NASCIMENTO, Geraldo; CÂMARA, Talita; ARNAN, Xavier. Critical thermal limits in ants and their implications under climate change. **Biological Reviews**, v. 97, n. 4, p. 1287-1305, 2022.

NESS, J. H. et al. Ant body size predicts dispersal distance of ant-adapted seeds: implications of small-ant invasions. **Ecology**, v. 85, n. 5, p. 1244-1250, 2004.

NORBERG, Ulla M. Vertebrate flight: mechanics, physiology, morphology, ecology and evolution. **Springer Science & Business Media**, 2012.

OLIVEIRA, Fernanda MP et al. Effects of increasing aridity and chronic anthropogenic disturbance on seed dispersal by ants in Brazilian Caatinga. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 6, p. 870-880, 2019.

PARR, Catherine L. et al. GlobalAnts: a new database on the geography of ant traits (Hymenoptera: Formicidae). **Insect Conservation and Diversity**, v. 10, n. 1, p. 5-20, 2017.

PARR, Catherine L.; BISHOP, Tom R. The response of ants to climate change. **Global change biology**, v. 28, n. 10, p. 3188-3205, 2022.

PEARCE-DUVET, Jessica MC; ELEMANS, Coen PH; FEENER JR, Donald H. Walking the line: search behavior and foraging success in ant species. **Behavioral Ecology**, v. 22, n. 3, p. 501-509, 2011.

PEARCY, Robert W. Responses of plants to heterogeneous light environments. In: **Functional plant ecology**. CRC press, 2007. p. 213-258.

PERFECTO, Ivette; PHILPOTT, Stacy M. Ants (Hymenoptera: Formicidae) and ecosystem functions and services in urban areas: a reflection on a diverse literature. **Myrmecological News**, v. 33, 2023.

PODGAISKI, Luciana Regina; DE SOUZA MENDONÇA JR, Milton; DE PATTA PILLAR, Valério. O uso de atributos funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: o que, como e por quê?. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 4, p. 835-853, 2011.

PREFEITURA DO RECIFE, Disponível em: https://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio . Acesso em: 27 de abril de 2023.

Rocha, Marcos Leandro da Cruz. **Formigas associadas à Turnera Subulata (Turneraceae) : atração pelo Elaiossomo e papel na germinação das sementes.** São Cristóvão, SE, 2017. Monografia (bacharelado em Ecologia) – Departamento de Ecologia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017

SALAS-LÓPEZ, Alex. Predicting resource use in ant species and entire communities by studying their morphological traits: Influence of habitat and subfamily. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 183-191, 2017.

SANDIM, Anne Gabrielle Velick. **Variações morfométricas de Ectatomma permagnum Forel, 1908 (Formicidae: Ectatomminae) sob o efeito de fatores ambientais no Cerrado.** 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2022.

SANTOS, M. N. Research on urban ants: approaches and gaps. **Insectes Sociaux**, v. 63, n. 3, p. 359-371, 2016.

SANTOS, Jeane Rodrigues Lopes et al. A study of the diversity of ants (Hymenoptera: Formicidae) in teak monoculture in Mato Grosso state pantanal. **Biodiversidade**, v. 19, n. 1, 2020.

SARTY, Megan; ABBOTT, Kirsten Lee; LESTER, Phillip J. Habitat complexity facilitates coexistence in a tropical ant community. **Oecologia**, v. 149, p. 465-473, 2006.

SEIFERT, Carlo L. et al. Day vs. night predation on artificial caterpillars in primaryrainforest habitats–an experimental approach. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 158, n. 1, p. 54-59, 2016.

SILVA, Jônatas Levi Gomes da. **Serviços de proteção anti-herbivoria prestadospor formigas em um gradiente de sucessão secundária em áreas de Caatinga.**2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

SINCLAIR, Brent J. et al. Can we predict ectotherm responses to climate change using thermal performance curves and body temperatures?. **Ecology letters**, v. 19,n. 11, p. 1372-1385, 2016.

SOMMER, Stefan; WEHNER, Rüdiger. Leg allometry in ants: extreme long- leggedness in thermophilic species. **Arthropod structure & development**, v. 41, n.1, p. 71-77, 2012.

TABARELLI, Marcelo et al. A conversão da floresta atlântica em paisagens antrópicas: lições para a conservação da diversidade biológica das florestastropicais. **Interciencia**, v. 37, n. 2, p. 88-92, 2012.

TAMASHIRO, Ryan A.; MILLIGAN, Patrick D.; PALMER, Todd M. Left out in the cold:temperature-dependence of defense in an African ant–plant mutualism. **Ecology**, v. 100, n. 6, e.02712, 2019. DOI https://doi.org/10.1002/ecy.2712

VIOLLE, Cyrille et al. Let the concept of trait be functional!. **Oikos**, v. 116, n. 5, p.882-892, 2007.

WARD, Philip S. **Taxonomy, phylogenetics, and evolution.** Chapter 1, 2010.

WEISER, Michael D.; KASPARI, Michael. Ecological morphospace of New Worldants. **Ecological Entomology**, v. 31, n. 2, p. 131-142, 2006.

WEST-EBERHARD, Mary Jane. Phenotypic plasticity and the origins of diversity.
Annual review of Ecology and Systematics, v. 20, n. 1, p. 249-278, 1989.

WIESCHER, Philipp T.; PEARCE-DUVET, Jessica MC; FEENER, Donald H. Assembling an ant community: species functional traits reflect environmental filtering.
Oecologia, v. 169, p. 1063-1074, 2012.

YATES, Michelle L. et al. Morphological traits: predictable responses to macrohabitats across a 300 km scale. **PeerJ**, v. 2, p. e271, 2014.