



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

MATHEUS SILVA RACCA FERNANDES

**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NAS CIDADES: O PAPEL DE FORMIGAS NA
RECICLAGEM DE LIXO URBANO**

SEROPÉDICA
2026





MATHEUS SILVA RACCA FERNANDES

SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NAS CIDADES: O PAPEL DE FORMIGAS NA
RECICLAGEM DE LIXO URBANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia Animal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biologia Animal, Área de concentração: Biodiversidade.

Orientador(a): Dr. Jarbas Marçal de Queiroz

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Central de Processamento
Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F363s Fernandes, Matheus Silva Racca, 2000-
 Serviços ecossistêmicos nas cidades: o papel de
 formigas na reciclagem de lixo urbano / Matheus Silva
 Racca Fernandes. - Rio de Janeiro, 2026.
 77 f.: il.

 Orientador: Jarbas Marçal de Queiroz.
 Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
 do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em
 Biologia Animal, 2026.

 1. Comportamento. 2. Ecologia de Comunidades. 3.
 Ecologia Urbana. 4. Insetos Sociais. 5. Mata
 Atlântica. I. Queiroz, Jarbas Marçal de, 1968-.,
 orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
 Janeiro. Programa de Pós Graduação em Biologia Animal
 III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta TFC/Dissertação/Tese, desde que seja citada a fonte

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

MATHEUS SILVA RACCA FERNANDES

**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NAS CIDADES: O PAPEL DE FORMIGAS
NA RECICLAGEM DE LIXO URBANO**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre (a) em Ciências, no Curso de pós-graduação em **BIOLOGIA ANIMAL**,
área de concentração em **BIODIVERSIDADE ANIMAL**

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16 DE ABRIL DE 2026

BANCA EXAMINADORA:

Dr. JARBAS MARCAL DE QUEIROZ

Dr. GABRIEL MARTINS PANTOJA

Dra. LUCIANA ELIZALDE

Dr. RONY PETERSON SANTOS ALMEIDA



TERMO Nº 242/2026 - PPGBA (12.28.01.00.00.00.42)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 26/04/2026 18:48)

GABRIEL MARTINS PANTOJA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptEF (12.28.01.00.00.00.49)
Matricula: ###929#0

(Assinado digitalmente em 26/04/2026 14:50)

JARBAS MARCAL DE QUEIROZ
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.29)
Matricula: ###563#1

(Assinado digitalmente em 26/04/2026 16:09)

RONY PETERSON SANTOS ALMEIDA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.525-##

(Assinado digitalmente em 27/04/2026 16:04)

LUCIANA ELIZALDE
ASSINANTE EXTERNO
Passaporte: ###505#4

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/documentos/> informando seu número: **242**, ano: **2026**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **26/04/2026** e o código de verificação: **5d1ce94109**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo o apoio e incentivo durante esse processo, especialmente à minha companheira Giullia e ao meu pai Marcelo, que me acompanharam de perto na realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Jarbas Marçal, pela oportunidade e pelo suporte ao longo de toda a execução deste trabalho. Agradeço imensamente por ter confiado em mim e por ter me proporcionado toda a estrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

A todos os membros do Laboratório de Ecologia, Conservação e Mirmecologia (DCA/UFRRJ) e aos amigos que me apoiam ao longo desse processo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido.

À Secretaria Municipal do Ambiente e Clima (SMAC) do Rio de Janeiro por ter permitido a realização da pesquisa nos parques urbanos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal (PPGBA) e à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por terem me proporcionado a infraestrutura, o conhecimento e a oportunidade de alcançar este objetivo profissional.

Declaração do Uso da Inteligência Artificial:

Declaro que ferramentas de Inteligência Artificial Generativa foram utilizadas neste trabalho nas seguintes condições: O ChatGPT foi utilizado para identificação de erros ortográficos e auxílio no preparo de scripts no software R (4.4.1), na etapa de revisão e análises estatísticas.

Todo o conteúdo gerado com o apoio dessas ferramentas foi submetido à revisão crítica pelo(a) autor(a), que assume integral responsabilidade pela originalidade, veracidade e integridade do texto final, em conformidade com a Política de Integridade na Atividade Científica do CNPq (Portaria nº2.664/2026).

RESUMO

FERNANDES, Matheus Silva Racca. **Serviços ecossistêmicos nas cidades: o papel de formigas na reciclagem de lixo urbano**. 2026. 77 folhas. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2026.

As formigas (Hymenoptera: Formicidae) fornecem diversos serviços ecossistêmicos para o funcionamento e manutenção dos ambientes urbanos, sendo essenciais para o enriquecimento dos solos, reciclagem de matéria orgânica e dispersão de sementes. Recentemente, diferentes estudos destacaram o papel das formigas na reciclagem de restos de alimentos humanos acumulados nas cidades, ressaltando a importância desses animais para a preservação de praças e parques urbanos. Diante desse cenário, esse estudo teve como objetivo investigar como a reciclagem de restos de alimentos humanos realizada por formigas é afetada sob diferentes condições ambientais e fatores locais. Para isso, dois estudos foram conduzidos em ambientes com históricos distintos para avaliar o serviço de remoção de restos de alimentos por formigas: I) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em Seropédica (RJ), em ambientes com alta e baixa intervenção humana; e II) em praças e parques localizados na cidade do Rio de Janeiro (RJ). Em ambos os estudos, foram disponibilizados pedaços de salsicha e biscoito em estações de alimentos, e utilizado duas métricas de eficiência para avaliar o serviço: Tempo de descoberta (TD) e Tempo de remoção total (TRT). No experimento I, a espécie nativa *Pheidole obscurithorax* Naves, 1985 foi um fator chave para a alta eficiência na descoberta e remoção dos alimentos em áreas com alta intervenção humana. No experimento II, a presença da espécie invasora *Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793) esteve positivamente associada com o maior risco na descoberta e remoção dos restos de alimentos em praças e parques urbanos. Esses resultados destacam como as formigas, nativas ou exóticas, podem ser importantes para reciclagem de restos de alimentos e que a presença e dominância de determinadas espécies pode ser fundamental para a execução desse serviço.

Palavras-chave: Comportamento; Ecologia de Comunidades; Ecologia Urbana; Insetos Sociais; Mata atlântica.

ABSTRACT

FERNANDES, Matheus Silva Racca. **Ecosystem services in cities: the role of ants in urban waste recycling**. 2026. 77 pages. Dissertation (Master's in Animal Biology) – Institute of Biological and Health Sciences, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2026.

Ants (Hymenoptera: Formicidae) provide various ecosystem services for the functioning and maintenance of urban environments, being essential for soil enrichment, organic matter recycling, and seed dispersal. Recently, various studies have highlighted the role of ants in recycling human food waste accumulated in cities, emphasizing the importance of these animals for the preservation of urban squares and parks. Given this scenario, this study aimed to investigate how the recycling of human food waste by ants is affected under different environmental conditions and local factors. To this end, two studies were conducted in environments with distinct histories to evaluate the food-removal service provided by ants: I) on the campus of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ) in Seropédica (RJ), in environments with high and low levels of human intervention; and II) in squares and parks located in the city of Rio de Janeiro (RJ). In both studies, pieces of sausage and cookies were placed at food stations, and two efficiency metrics were used to evaluate the service: Discovery Time (DT) and Total Removal Time (TRT). In Experiment I, the native ant species *Pheidole obscurithorax* Naves, 1985 was a key factor in the high efficiency of food discovery and removal in areas with high human intervention. In Experiment II, the presence of the invasive species *Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793) was positively associated with a higher risk in the discovery and removal of food scraps in urban squares and parks. These results highlight how ants, whether native or exotic, can be important for the recycling of food scraps and that the presence and dominance of certain species can be fundamental to the performance of this service.

Keywords: Behavior; Community Ecology; Urban Ecology; Social Insects; Atlantic Forest.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – **A)** Mapa dos seis locais de amostragem no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); **B)** Jardim interno do Instituto de Biologia (IB); **C)** Jardim interno do Pavilhão Central (PC); **D)** Jardim interno do Instituto de Química (IQ); **E)** Área florestal próxima à Biblioteca Central (BC); **F)** Jardim Botânico (JB); **G)** Área florestal próxima aos alojamentos dos estudantes (RE).....11
- Figura 2** – Pedaco de salsicha ofertado sob a placa de acetato fixada no solo por palitos de madeira.....13
- Figura 3** – Riqueza de espécies de formigas em dois tipos de ambientes urbanos (AIH = ambientes com alta intervenção humana; BIH = ambientes com baixa intervenção humana) com amostras coletadas por armadilhas pitfalls de 24 horas (15 armadilhas para cada grupo) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).....18
- Figura 4** – Diversidade Beta baseada nas amostras coletadas em armadilhas pitfalls entre os dois tipos de ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). A diversidade Beta, medida pelo índice de Jaccard, foi diferente entre os tipos de ambientes urbanos (PERMDISP, $F = 31,54$, $p = <0,001$).....19
- Figura 5** – Diferenças na composição de espécies entre as seis áreas amostradas no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).....19
- Figura 6** – TD médio de itens alimentares em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). O TD médio em ambientes AIH foi aproximadamente 40% menor do que nas amostragens em ambientes BIH (GLMMs, $\beta = -0,392$, $p = 0,001$).....21
- Figura 7** – TD médio de fragmentos de salsicha e biscoito oferecidos em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Os fragmentos de salsicha foram descobertos mais rapidamente do que os fragmentos de biscoito (GLMMs, $\beta = -0,263$, $p = 0,002$).....22
- Figura 8** – TRT médio de fragmentos de salsicha e biscoito oferecidos em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Os fragmentos de salsicha foram removidos mais rapidamente do que os fragmentos de biscoito (GLMMs, $\beta = -0,437$, $p = 0,001$).....23
- Figura 9** – Porcentagem de alimentos removidos dentro e após 30 minutos em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Uma porcentagem significativamente maior de alimentos foi removida em 30 minutos em ambientes AIH em comparação com ambientes BIH ($\chi^2 = 5,37$, $df = 1$, $p =$

0,020).....24

Figura 10 – Índice de habilidade de descoberta (DAI) de espécies de formigas em estações de alimentos em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).....25

Figura 11 – Porcentagem de alimentos removidos dentro e após 30 minutos por *Pheidole obscurithorax*, a espécie mais frequente, e por outras espécies de formigas no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Uma porcentagem significativamente maior de alimentos foi removida em 30 minutos por *P. obscurithorax* em comparação com outras espécies ($\chi^2 = 8,5787$, $df = 1$, $p = 0,003$).....26

Figura 12 – Mapa do município do Rio de Janeiro contendo as 24 praças com diferentes níveis de ocorrência de *P. megacephala* e os 5 parques urbanos selecionados para a amostragem do estudo.....40

Figura 13 – Estações de alimento disponibilizadas em praças e parques sob placas de acetato (7 x 7 cm); **A)** Pedaco de salsicha sendo removida formigas; **B)** Pedaco de biscoito sendo removido por formigas.....41

Figura 14 – Risco de descoberta e remoção total (HR) de restos de alimentos em áreas verdes na cidade do Rio de Janeiro. **A)** Risco de descoberta dos alimentos em relação a frequência de *P. megacephala* (%) (COX, $z = 2.04$, $p = 0.040$). **B)** Risco de remoção total dos alimentos em relação a frequência de *P. megacephala* (%) (COX, $z = 2.17$, $p = 0.030$). **C)** Risco de descoberta dos alimentos em relação a quantidade de árvores próximas (COX, $z = -2.28$, $p = 0.022$). **D)** Risco de remoção total dos alimentos em relação a quantidade de árvores próximas (COX, $z = -2.37$, $p = 0.017$).....46

Figura 15 – Variação do tempo de descoberta (TD) e remoção total (TRT) de restos de alimentos sob diferentes condições de exposição. **A)** Risco acumulado (H(t)) de descoberta de estações de alimento disponibilizadas sob o sol e a sombra (COX, $z = 6.83$, $p = < 0.001$). **B)** Risco acumulado (H(t)) de remoção total de estações de alimento disponibilizadas sob o sol e a sombra (COX, $z = 4.40$, $p = < 0.001$).....47

Figura 16 – Risco acumulado (H(t)) de descoberta de diferentes restos de alimento (COX, $z = 2.00$, $p = 0.045$). Os restos de salsicha apresentaram um risco maior de descoberta (21%) em comparação com os de biscoito.....48

Figura 17 – Relação entre descoberta e remoção de restos de alimentos em praças e parques urbanos na cidade do Rio de Janeiro. **A)** Valores do Índice de habilidade de descoberta (DAI) das espécies de formigas. **B)** Valores do Índice de Habilidade de Remoção (RAI) das espécies de formigas. **C)** Relação entre os índices DAI e RAI com base nas espécies de formigas mais eficientes (Spearman, $\rho = 0.83$, $p = < 0.001$).....49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias de tempo para medir o Tempo de Descoberta (DT) e o Tempo de Remoção Total (TRT) das estações de alimento.....14

Tabela 2 – Índice de complementaridade (Cindex) dos grupos funcionais de formigas entre dois tipos de ambientes urbanos (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana), com base no número total de espécies exclusivas e compartilhadas por grupo funcional.....20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERÊNCIAS.....	3
CAPÍTULO I.....	5
3 CAPÍTULO I: <i>Pheidole obscurithorax</i> Naves, 1985 (Hymenoptera: Formicidae) como espécie chave na detecção e remoção de resíduos alimentares em áreas urbanas.....	7
4 INTRODUÇÃO.....	8
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
5.1 Local de estudo.....	10
5.2 Fatores abióticos.....	11
5.3 Estrutura da comunidade de formigas e diversidade funcional.....	11
5.4 Desenho experimental.....	12
5.5 Tempo de descoberta (TD) e tempo de remoção total (TRT).....	14
5.6 Análises estatísticas.....	15
6 RESULTADOS.....	17
6.1 Número de indivíduos coletados.....	17
6.2 Diversidade, grupos funcionais e atividade.....	17
6.3 Serviço ecossistêmico e papel das espécies.....	20
7 DISCUSSÃO.....	27
7.1 Diversidade, grupos funcionais e atividade.....	27
7.2 Serviço ecossistêmico e papel das espécies.....	28
8 CONCLUSÃO.....	31
9 REFERÊNCIAS.....	32
CAPÍTULO II.....	34
10 CAPÍTULO II: Efeito da presença da espécie invasora <i>Pheidole megacephala</i> (Fabricius, 1793) (Hymenoptera: Formicidae) na remoção de restos de alimentos em áreas urbanas na cidade do Rio de Janeiro.....	37
11 INTRODUÇÃO.....	38
12 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
12.1 Locais de estudos e nível de ocorrência.....	40
12.2 Desenho experimental.....	41
12.3 Fatores abióticos.....	42
12.4 Características locais.....	42
12.5 Tempo de descoberta (TD) e tempo de remoção total (TRT).....	43
12.6 Análises estatísticas.....	43
13 RESULTADOS.....	45
13.1 Tempo de descoberta (TD) e remoção total (TRT).....	45
13.2 Índice de habilidade de descoberta (DAI) e remoção (RAI).....	48
14 DISCUSSÃO.....	50

15 CONCLUSÃO.....	53
16 REFERÊNCIAS.....	54
17 CONCLUSÕES GERAIS.....	57
18 ANEXOS.....	58

1 INTRODUÇÃO GERAL

As formigas (Hymenoptera: Formicidae) são organismos dominantes em diversos ambientes ao redor do mundo, constituindo um dos grupos mais abundantes da entomofauna terrestre (Hölldobler; Wilson, 1990; Schultheiss *et al.*, 2022). Atualmente, existe aproximadamente cerca de 14.000 espécies de formigas descritas pela ciência (Bolton, 2025). Os ambientes tropicais se destacam pela alta diversidade e abundância desses animais presentes tanto em zonas naturais quanto urbanizadas (Schultheiss *et al.*, 2022). Esses animais apresentam alta plasticidade comportamental e ocupam uma ampla variedade de micro-habitats em áreas urbanas, sendo encontradas em jardins residenciais, rachaduras no solo, campos abertos, praças e parques urbanos (Pacheco; Vasconcelos, 2007; Uno; Cotton; Philpott, 2010; Estrada *et al.*, 2014; Santos; Delabie; Queiroz, 2019; Violante *et al.*, 2026). Esses insetos desempenham funções ecológicas essenciais para a manutenção das paisagens urbanas, pois atuam diretamente em diversos serviços ecossistêmicos, como o enriquecimento do solo, reciclagem de matéria orgânica, controle de pragas, entre outros (Elizalde *et al.*, 2020; Perfecto; Philpott, 2023).

Recentemente, diferentes estudos destacaram o papel das formigas na reciclagem de restos de matéria orgânica descartada e acumulada nas cidades, ressaltando a importância desses animais em zonas urbanas (Tan; Corlett, 2012; Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015; Hosaka *et al.*, 2019; Ashigar; Ab Majid, 2020; Chen; Neoh, 2023). A acumulação de lixo e resíduos sólidos em ambientes urbanos é considerado atualmente um problema de escala global, ocasionado por aspectos econômicos, políticos e sociais (Costa *et al.*, 2026). De acordo com a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), o Brasil ultrapassou a marca de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos gerados em 2024, consolidando um dos maiores volumes já registrados no país. A região Sudeste, onde está localizado o estado do Rio de Janeiro, apresentou um aumento de 25% acima da média nacional de geração de resíduos (ABREMA, 2025). A acumulação desses resíduos nos grandes centros urbanos proporciona problemas graves para a população humana por conta da exposição a doenças contagiosas e infecciosas (Almeida; Cota; Rodrigues, 2020).

Dessa forma, as formigas, por suas características ecológicas e comportamentais, podem ser consideradas importantes para as cidades, proporcionando benefícios para o saneamento urbano e a saúde pública (Perfecto; Philpott, 2023). Em algumas situações, a remoção de restos orgânicos nas cidades é realizada principalmente por formigas, que muitas vezes dominam esse

processo em comparação com outros grupos de insetos (Tan; Corlett, 2012). Além disso, esses animais atuam diretamente na remoção de restos de alimentos humanos em ambientes urbanos, sendo mais eficientes em comparação com outros grupos de invertebrados e mamíferos na reciclagem desses resíduos (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015). A escassez relativa de recursos naturais em ambientes antrópicos tende a modificar a dieta desses animais, ocasionando a exploração de alimentos processados que são frequentemente descartados e acumulados nesses locais (Penick; Savage; Dunn, 2015).

Entretanto, as mudanças na paisagem urbana, resultantes do aumento do nível de impermeabilização do solo e da fragmentação de habitats, podem gerar impactos negativos sobre a biodiversidade presente nessas áreas (Aronson *et al.*, 2016, 2017; Andersen, 2019). As alterações provocadas pelas ações antrópicas reduzem a riqueza funcional de espécies (Sanford; Manley; Murphy, 2009), promovendo a homogeneização biótica da fauna e da flora urbana (McKinney, 2008; Lokatis; Jeschke, 2022). Consequentemente, essas mudanças também podem atingir a dinâmica dos processos ecológicos existentes, ameaçando a perda dos serviços ecossistêmicos considerados fundamentais para a conservação dos ecossistemas urbanos (McDonald; Marcotullio; Güneralp, 2013).

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo investigar como a remoção de restos de alimentos humanos realizada por formigas é afetada sob diferentes condições ambientais (*e.g.* temperatura, condição de exposição e período do dia) e fatores locais (nível de intervenção humana e proporção de árvores), incluindo o tipo do alimento (proteína x carboidrato) e estrutura da comunidade (*e.g.* diversidade e composição de espécies). Para isso, foram realizados experimentos em duas áreas com históricos de ocupação humana distintos: I) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), na cidade de Seropédica (RJ); e II) em praças e parques urbanos situados na cidade do Rio de Janeiro (RJ).

2 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. S.; COTA, A. L. S.; RODRIGUES, D. F. Sanitation, Arboviruses, and Environmental Determinants of Disease: impacts on urban health. **Ciencia & saude coletiva**, v. 25, p. 3857-3868, 2020.
- ANDERSEN, A. N. Responses of ant communities to disturbance: Five principles for understanding the disturbance dynamics of a globally dominant faunal group. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 3, p. 350-362, 2019.
- ARONSON, M. F. J. *et al.* Hierarchical filters determine community assembly of urban species pools. **Ecology**, v. 97, n. 11, p. 2952-2963, 2016.
- ARONSON, M. F. J. *et al.* Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 4, p. 189–196, 2017.
- ASHIGAR, M. A.; AB MAJID, A. H. Diversity, Abundance, and Foraging Behavior of Ants (Hymenoptera: Formicidae) Scavenging on American Cockroach in Various Habitats of Nasarawa State, Nigeria. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 43, n. 4, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE (ABREMA). **Brasil ultrapassa 81 milhões de toneladas de resíduos em 2024, aponta panorama da Abrema**. 2025. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/2025/12/15/brasil-ultrapassa-81-milhoes-de-toneladas-de-residuos-em-2024-aponta-panorama-da-abrema/>. Acesso em: 23 mar. 2026.
- BOLTON, B. **An online catalog of the ants of the world**. 2025. Disponível em: <https://antcat.org>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- COSTA, I. D. M. *et al.* Effects of socioeconomic and structural variables on the performance of urban solid waste management in Brazilian municipalities. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 28, n. 1, p. 352–365, 2026.
- CHEN, Y. H.; NEOH, K. B. Urbanization causes shifts in the functional traits and foraging activity, and alters food particle size preference and biomass removal of urban-dwelling ants. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 11, p. 1044485, 2023.
- ELIZALDE, L. *et al.* The ecosystem services provided by social insects: traits, management tools and knowledge gaps. **Biological Reviews**, v. 95, n. 5, p. 1418-1441, 2020.
- ESTRADA, M. A. *et al.* Influência de áreas verdes urbanas sobre a mirmecofauna. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 162–169, 2014.
- HÖLLDOBLER, Bert; WILSON, Edward O. **The ants**. Harvard University Press, 1990.
- HOSAKA, T. *et al.* Ant assemblages on littered food waste and food removal rates in urban–suburban parks of Tokyo. **Basic and Applied Ecology**, v. 37, p. 1–9, 2019.
- LOKATIS, S.; JESCHKE, J. M. Urban biotic homogenization: Approaches and knowledge

gaps. **Ecological Applications**, v. 32, n. 8, p. e2703, 2022.

MCDONALD, R. I.; MARCOTULLIO, P. J.; GÜNERALP, B. Urbanization and global trends in biodiversity and ecosystem services. In: **Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 31-52.

MCKINNEY, M. L. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 2, p. 161–176, 2008.

PACHECO, R.; VASCONCELOS, H. L. Invertebrate conservation in urban areas: ants in the Brazilian Cerrado. **Landscape and Urban Planning**, v. 81, n. 3, p. 193–199, 2007.

PENICK, C. A.; SAVAGE, A. M.; DUNN, R. R. Stable isotopes reveal links between human food inputs and urban ant diets. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1806, p. 20142608, 2015.

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

SANFORD, M. P.; MANLEY, P. N.; MURPHY, D. D. Effects of urban development on ant communities: implications for ecosystem services and management. **Conservation Biology**, v. 23, n. 1, p. 131–141, 2009.

SANTOS, M. N.; DELABIE, J. H.; QUEIROZ, J. M. Biodiversity conservation in urban parks: a study of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) in Rio de Janeiro City. **Urban Ecosystems**, v. 22, n. 5, p. 927–942, 2019.

SCHULTHEISS, P. *et al.* The abundance, biomass, and distribution of ants on Earth. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 40, p. e2201550119, 2022.

TAN, C. K.; CORLETT, R. T. Scavenging of dead invertebrates along an urbanisation gradient in Singapore. **Insect Conservation and Diversity**, v. 5, n. 2, p. 138–145, 2012.

UNO, S.; COTTON, J.; PHILPOTT, S. M. Diversity, abundance, and species composition of ants in urban green spaces. **Urban Ecosystems**, v. 13, n. 4, p. 425–441, 2010.

VIOLANTE, G. M. *et al.* Biodiversity in the city: effects of local and landscape characteristics on ant community in urban squares of Rio de Janeiro, Brazil. **Urban Ecosystems**, v. 29, n. 1, p. 31, 2026.

YOUNGSTEADT, E. *et al.* Habitat and species identity, not diversity, predict the extent of refuse consumption by urban arthropods. **Global Change Biology**, v. 21, n. 3, p. 1103–1115, 2015.

CAPÍTULO I

***PHEIDOLE OBSCURITHORAX* NAVES, 1985 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)
COMO ESPÉCIE CHAVE NA DETECÇÃO E REMOÇÃO DE RESÍDUOS
ALIMENTARES EM ÁREAS URBANAS***

***Para atender a norma do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFRRJ visando a defesa desta dissertação, uma versão em inglês deste capítulo foi publicada na revista Sociobiology:**

Sociobiology 73(1): e11872 (March, 2026)

DOI: 10.13102/sociobiology.v73i1.11872



Sociobiology
An international journal on social insects

RESEARCH ARTICLE - ANTS

***Pheidole obscurithorax* Naves, 1985 (Hymenoptera: Formicidae) as a Key Species in Detecting and Removing Food Waste in Urban Areas**

MATHEUS S. R. FERNANDES^{1,3}, EDER C. B. DE FRANÇA², CECÍLIA B. DE ALBUQUERQUE³, JARBAS M. QUEIROZ⁴

1 - Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, ICBS, UFRRJ, Seropédica-RJ, Brazil

2 - Programa de Pós-Graduação em Entomologia, UFPR, Curitiba-PR, Brazil

3 - Laboratório de Ecologia, Conservação e Mirmecologia, DCA, UFRRJ, Seropédica-RJ, Brazil

4 - Departamento de Ciências Ambientais, IF, UFRRJ, Seropédica-RJ, Brazil

Article History

Edited by

Evandro Nascimento Silva, UFFS, Brazil

Received 30 June 2025

Initial acceptance 03 December 2025

Final acceptance 06 January 2026

Publication date 12 March 2026

Keywords

Ecosystem service, Urban environments, Ant ecology.

Corresponding author

Matheus S. R. Fernandes

Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, ICBS, UFRRJ, Seropédica-RJ, Brazil.
E-Mail: matheusraccafernandes@gmail.com

Abstract

Ants are essential components in the maintenance of ecosystem services in natural systems, contributing significantly to ecosystem stability. In urban environments, they play a key role in the removal and recycling of organic matter accumulated in densely populated areas, providing a service that is crucial for both public health and environmental quality. In this study, we investigated differences in ant communities and the ecosystem services they provide across two contrasting urbanized environments in southeastern Brazil. To evaluate ant functional efficiency, we used two metrics: discovery time (DT) and total removal time (TRT) of food waste. Urban environments with higher levels of human intervention exhibited greater ant activity compared to those with lower levels of disturbance. No statistically significant differences in species diversity were found between the two urban habitat types. The results showed that the mean DT was approximately 40% lower in highly disturbed areas. A positive association was observed between the presence of *Pheidole obscurithorax* and the proportion of food stations removed within and after 30 minutes, highlighting the key role of this species in food waste detection and removal in urban settings.

Introduction

Ants (Hymenoptera: Formicidae) play a pivotal role in maintaining various ecological processes, such as nutrient cycling, organic matter decomposition, and soil formation (Folgarait, 1998; Del Toro et al., 2012; Perfecto & Philpott, 2023). In tropical forests, for instance, ants are responsible for removing and recycling more than 50% of the available food resources, surpassing other arthropod groups and even vertebrates in this process (Griffiths et al., 2018). These animals are opportunistic and generalist, with a remarkable ability to locate resources, making them functionally irreplaceable in natural ecosystems. The proper functioning and stability of ecosystems depend heavily on the ecological services provided by ants (Hölldobler & Wilson, 1990; Lavelle et al., 2006).

The high adaptability of ants, combined with dispersal and introduction facilitated by human activities, has enabled them to successfully establish populations in urban environments. Their presence is notably diverse and abundant across a wide range of habitats, from public green spaces to build structures and domestic interiors (McGlynn, 1999; Kamura et al., 2007; Santos, Delabie & Queiroz, 2019). The interplay of biotic and abiotic factors, alongside the historical, structural, and social characteristics of cities, plays a crucial role in the survival of species, creating unique microhabitats that shape populations, influence physicochemical processes, and alter ecological relationships (McKinney, 2008; Aronson et al., 2016; Liu et al., 2019).

In urban ecosystems, ants can play positive roles, such as recycling improperly discarded food and providing



Open access journal: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology>
ISSN: 0361-6525

3 CAPÍTULO I: *Pheidole obscurithorax* Naves, 1985 (Hymenoptera: Formicidae) como espécie chave na detecção e remoção de resíduos alimentares em áreas urbanas

RESUMO

As formigas (Hymenoptera: Formicidae) são componentes essenciais na manutenção dos serviços ecossistêmicos em sistemas naturais, contribuindo significativamente para a estabilidade do ecossistema. Em ambientes urbanos, elas desempenham um papel fundamental na remoção e reciclagem da matéria orgânica acumulada em áreas densamente povoadas, prestando um serviço crucial tanto para a saúde pública quanto para a qualidade ambiental. Neste estudo, investigamos as diferenças nas comunidades de formigas e seus efeitos sobre a descoberta e remoção de restos alimentares em dois ambientes urbanizados contrastantes no sudeste do Brasil. Para avaliar a eficiência funcional das formigas, utilizamos duas métricas: tempo de descoberta (TD) e tempo total de remoção (TRT) de resíduos alimentares. Ambientes urbanos com níveis mais altos de intervenção humana exibiram maior atividade de formigas em comparação com aqueles com níveis mais baixos de perturbação. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas na diversidade de espécies entre os dois tipos de habitat urbano. Os resultados mostraram que o TD médio foi aproximadamente 40% menor em áreas altamente perturbadas. Observou-se uma associação positiva entre a presença de *Pheidole obscurithorax* e a proporção de estações de alimentação removidas dentro e após 30 minutos, destacando o papel fundamental dessa espécie na detecção e remoção de resíduos alimentares em ambientes urbanos.

Palavras-chave: Serviços ecossistêmicos; Ambientes urbanos; Ecologia de formigas.

4 INTRODUÇÃO

As formigas (Hymenoptera: Formicidae) são ecologicamente dominantes e possuem grande importância para os ecossistemas naturais (Hölldobler; Wilson, 1990; Folgarait, 1998; Del Toro; Ribbons; Pelini, 2012). Nas florestas tropicais, por exemplo, as formigas são responsáveis pela remoção e reciclagem de mais de 50% dos recursos alimentares disponíveis, superando outros grupos de artrópodes e até mesmo vertebrados nesse processo (Griffiths *et al.*, 2018). Esses animais são oportunistas e generalistas, com uma notável capacidade de localizar recursos, o que os torna funcionalmente insubstituíveis nos ecossistemas naturais. O bom funcionamento e a estabilidade dos ecossistemas dependem fortemente dos serviços ecológicos prestados pelas formigas (Hölldobler; Wilson, 1990; Lavelle *et al.*, 2006).

A elevada plasticidade das formigas, aliada à dispersão e introdução facilitadas pelas atividades humanas, permitiu-lhes estabelecer populações com sucesso em ambientes urbanos. Sua presença é notavelmente diversificada e abundante em uma ampla variedade de habitats, desde espaços verdes públicos até estruturas construídas e ambientes domésticos (McGlynn, 1999; Kamura *et al.*, 2007; Santos; Delabie; Queiroz, 2019). A interação entre fatores bióticos e abióticos, aliada às características históricas, estruturais e sociais das cidades, desempenha um papel crucial na sobrevivência das espécies, criando micro-habitats únicos que moldam as populações, influenciam os processos físico-químicos e alteram as relações ecológicas (McKinney, 2008; Aronson *et al.*, 2016; Andersen, 2019).

Nos ecossistemas urbanos, as formigas podem desempenhar papéis positivos, como a reciclagem de alimentos descartados de forma inadequada, fornecendo um serviço essencial tanto para o meio ambiente quanto para a saúde pública (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015; Hosaka *et al.*, 2019). De acordo com Hosaka *et al.* (2019), a taxa de remoção de alimentos em habitats suburbanos e urbanos, gerenciada pelas formigas, pode ser comparável à observada em ambientes naturais. Em alguns casos, a presença de espécies específicas pode ter um impacto mais significativo do que a diversidade de espécies em áreas urbanas, aumentando a capacidade de remoção de alimentos e promovendo a reciclagem de resíduos a taxas até duas ou três vezes superiores a áreas com maior cobertura vegetal (Youngsteadt *et al.*, 2015; Hosaka *et al.*, 2019).

Além de contribuir para a reciclagem de resíduos alimentares, as formigas urbanas são igualmente eficazes na remoção de matéria orgânica não diretamente associada às atividades humanas. O acúmulo de carcaças de invertebrados em fragmentos urbanos é removido principalmente por formigas necrófagas, que frequentemente dominam esse processo

em comparação com outros grupos de artrópodes necrófagos, como moscas e baratas (Tan; Corlett, 2012; Ashigar; Ab Majid, 2020). O comportamento agressivo e a forrageamento em grande escala, comuns em algumas espécies de formigas urbanas, aumentam sua capacidade de remover recursos (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015; Ashigar; Ab Majid, 2020).

Embora o número de estudos que analisaram os serviços ecológicos prestados pelas formigas em ecossistemas urbanos tenha aumentado nos últimos anos, ainda existe uma lacuna significativa na compreensão de como esses processos funcionam nesses ambientes, particularmente em regiões tropicais (Santos, 2016). A maioria dos estudos tem se concentrado em como a urbanização afeta a biodiversidade e a abundância das formigas (Laakel *et al.*, 2024; Lanhoso *et al.*, 2024; Orivel *et al.*, 2025; Violante *et al.*, 2026). No entanto, essa abordagem, que enfatiza a diversidade e a abundância, deixa de lado insights fundamentais sobre a importância funcional das formigas em habitats antropogênicos.

Portanto, nosso objetivo foi compreender como as espécies de formigas se comportam em uma escala micro temporal (30 minutos) para entender os serviços ecossistêmicos que elas podem prestar em espaços urbanos. Para isso, investigamos as diferenças nas comunidades de formigas e na remoção de restos de alimentos em dois locais urbanos contrastantes: um com baixos níveis de intervenção humana e outro com altos níveis. As seguintes hipóteses foram testadas neste estudo: 1) a riqueza e a composição de espécies da comunidade de formigas são afetadas pelo nível de intervenção humana no ambiente; 2) as formigas apresentam variações no comportamento de forrageamento entre ambientes com diferentes níveis de intervenção humana em uma abordagem micro temporal; 3) ambientes com alta diversidade funcional e riqueza de espécies de apresentam maior eficiência na descoberta e remoção de recursos alimentares em comparação com ambientes de baixa diversidade e riqueza.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local de estudo

Este estudo foi realizado no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizado no município de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro (RJ), Brasil (22°45'56"S; 43°41'33"W). O campus possui edifícios em estilo colonial com jardins internos, cercados por amplas áreas verdes abertas e zonas florestais. O clima local é classificado como tropical, com temperatura média anual de 24 °C e precipitação média anual de 1.260 mm (Alvares *et al.*, 2013).

Seis áreas de amostragem foram selecionadas para este estudo (Figura 1 A): três jardins internos (Instituto de Biologia (IB), Instituto de Química (IQ) e Pavilhão Central (PC)); e três áreas abertas densamente cobertas por árvores, arbustos e ervas (Jardim Botânico (JB), Residências Estudantis (RE) e Biblioteca Central (BC)). Esses locais foram agrupados em duas categorias ambientais: (I) Ambientes de Alta Intervenção Humana (AIH) e (II) Ambientes de Baixa Intervenção Humana (BIH). Os locais IB, IQ e PC foram classificados como AIH, caracterizados pela presença de vegetação ornamental (árvores, arbustos, plantas herbáceas, a maioria exótica) e infraestrutura urbana, como calçadas, superfícies de concreto e bordas construídas (Figura 1 B, C, D). Em contrapartida, JB, RE e BC foram classificados como BIH, com vegetação mais abundante e espontânea, na sua maioria nativa, sem superfícies pavimentadas ou infraestruturas formais (Figura 1 E, F, G).

Figura 1 - A) Mapa dos seis locais de amostragem no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); B) Jardim interno do Instituto de Biologia (IB); C) Jardim interno do Pavilhão Central (PC); D) Jardim interno do Instituto de Química (IQ); E) Área florestal próxima à Biblioteca Central (BC); F) Jardim Botânico (JB); G) Área florestal próxima aos alojamentos dos estudantes (RE).



Fonte: própria

5.2 Fatores abióticos

A temperatura e a umidade foram medidas em cada local de amostragem com um termohigrômetro-anemômetro-luxímetro digital (LM8000). Cada fator foi medido três vezes para obter um valor médio — uma vez no início, uma vez durante e uma vez no final do período experimental.

Para indicar as condições de exposição, cada estação de alimentação foi classificada como estando sob luz solar ou à sombra, dependendo de sua posição. Em dias totalmente nublados, as estações de alimentação ficavam à sombra, pois não havia luz solar direta sobre a placa de acetato.

5.3 Estrutura da comunidade de formigas e diversidade funcional

Para avaliar a diversidade e a atividade das formigas em cada ambiente, foram instaladas 5 armadilhas pitfalls por local entre 18 e 19 de novembro de 2024, resultando em 30 amostras (15 para ambientes AIH e 15 para ambientes BIH). A colocação das armadilhas foi baseada nas dimensões geográficas de cada área e nos transectos previamente estabelecidos para amostragem de serviços ecossistêmicos. Todas as armadilhas foram removidas 24 horas após a instalação. As formigas coletadas nas armadilhas foram contadas, preservadas em etanol a 70%

e identificadas no nível taxonômico mais baixo possível, após a classificação completa do material de cada armadilha.

Os grupos funcionais das espécies de formigas em cada ambiente foram categorizados com base na metodologia adotada por Estrada *et al.* (2023), para os grupos funcionais propostos por Delabie, Agosti e Nascimento (2000), Silvestre, Brandão e Silva (2003), Macedo, Berti Filho e Delabie (2011), Groc *et al.* (2014) e de Carvalho Pereira *et al.* (2016). Classificamos de acordo com informações sobre hábitos de forrageamento, nidificação e alimentação, resultando em seis grupos funcionais: Onívoros Arbóreos; Onívoros Generalistas Epígeos; Onívoros Epígeos-Arbóreos; Predadores Generalistas Epígeos; Cultivadores de Fungos e Cortadores de Folhas.

5.4 Desenho experimental

Em cada área designada, foram oferecidos 36 itens alimentares (18 pedaços de salsicha e 18 pedaços de biscoitos) para simular alimentos descartados em ambientes urbanos, totalizando 216 amostras neste estudo. O uso de dois tipos de alimentos (proteína versus carboidrato) teve como objetivo abordar as preferências entre diferentes grupos funcionais e avaliar possíveis variações no tempo de resposta das formigas, com base na categoria de alimentos, conforme relatado em estudos anteriores (Tan; Corlett, 2012; Youngsteadt *et al.*, 2015). A composição nutricional dos alimentos foi obtida a partir de informações de rótulos comerciais (Anexo A). Estações de amostragem foram estabelecidas em intervalos de 10 metros, ajustadas às dimensões de cada local. Os alimentos foram colocados em placas de acetato (7×7 cm) e fixados ao solo usando palitos de madeira fixadas nas extremidades laterais (Figura 2). As superfícies de acetato garantem boa visibilidade para identificação e coleta, ao mesmo tempo em que proporcionam estabilidade contra perturbações mecânicas e outras possíveis interrupções.

Figura 2. Pedaco de salsicha ofertado sob a placa de acetato fixada no solo por palitos de madeira.



A amostragem foi realizada em dias secos entre 31 de maio e 5 de julho de 2024. Cada item alimentar foi padronizado em quantidade (50 mg) e tamanho (0,5-1 cm). Essa quantidade foi determinada por meio de ensaios piloto para permitir uma avaliação mais precisa dos tempos de descoberta e remoção pelas formigas. Além disso, de acordo com Youngsteadt *et al.* (2015), quando os fragmentos de alimentos são pequenos (<2 g), semelhantes a resíduos descartados acidentalmente, os artrópodes sozinhos podem remover 100% do material em 24 horas em ambientes urbanos.

As espécies de formigas observadas removendo os itens alimentares foram coletadas nas estações de amostragem usando pincéis e pinças e transferidas para frascos com etanol 70% para posterior identificação. As espécies foram identificadas por meio de comparação com a coleção de referência do Laboratório de Ecologia, Conservação e Mirmecologia (UFRRJ) e de acordo com a literatura (Feitosa; Dias, 2024). Para minimizar a interferência no comportamento de forrageamento das formigas, a coleta foi evitada quando apenas alguns indivíduos estavam presentes no item alimentar. Em grandes agregações, os indivíduos foram coletados normalmente, com preferência para aqueles ao redor da placa de acetato. Em todos os casos, as formigas não foram coletadas durante o processo de remoção propriamente dito.

5.5 Tempo de descoberta (TD) e tempo de remoção total (TRT)

Para investigar a capacidade de remoção de alimentos pelas formigas com mais detalhes, foram realizadas observações durante um período de 30 minutos, a partir do momento em que os alimentos foram colocados no solo. Com base nesse intervalo de tempo, foram estabelecidas sete categorias de tempo para registro e análise dos dados (Tabela 1). Dois critérios foram utilizados para avaliar a eficiência da remoção e para alocar as observações nas categorias de tempo predefinidas: Tempo de Descoberta (TD) e Tempo de Remoção Total (TRT) dos fragmentos de alimentos em cada local.

Tabela 1 - Categorias de tempo para medir o Tempo de Descoberta (TD) e o Tempo de Remoção Total (TRT) das estações de alimento.

Categorias de TD e TRT	1	2	3	4	5	6	7
Tempo (min)	0 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30	31 +

O TD foi definido como o momento em que duas ou mais formigas foram observadas no item alimentar, ou quando uma única formiga presente estava removendo ativamente o material por conta própria, após o início do período de observação. O TRT foi definido como a remoção completa do pedaço de alimento da placa de acetato. Nos casos em que o item ficou preso nos palitos de madeira ou outros obstáculos acidentais, a remoção ainda foi considerada completa, e o TRT foi registrado de acordo. Nos casos em que nenhuma formiga foi observada no item alimentar, tanto o TD quanto o TRT ainda foram registrados, seguindo o mesmo protocolo de observação.

Para examinar as possíveis diferenças na atividade de forrageamento em diferentes momentos do dia, a amostragem foi realizada em seis intervalos de tempo distintos — três pela manhã (09:00 – 10:00, 10:00 – 11:00 e 11:00 – 12:00) e três à tarde (14:00 – 15:00, 15:00 – 16:00 e 16:00 – 17:00). Em cada dia de amostragem, um local da categoria I e um da categoria II foram visitados alternadamente, com cada local sendo amostrado apenas uma vez por dia.

Esse desenho de amostragem alternada ajudou a minimizar a influência de fatores específicos do local ou circunstanciais que, de outra forma, poderiam enviesar os resultados.

5.6 Análises estatísticas

A atividade das formigas entre os dois tipos de ambientes urbanos (AIH e BIH) foi comparada usando um teste t aplicado ao número total de operárias registradas nas armadilhas. As diferenças na diversidade de espécies foram avaliadas por meio de curvas de rarefação baseadas em dados de incidência, permitindo comparações padronizadas da diversidade de espécies entre os ambientes.

Para verificar as diferenças na composição das espécies em cada local, foi calculado um índice de dissimilaridade de Jaccard (1) utilizando o pacote *vegan* (v. 2.7.2) em R, com base nos dados obtidos a partir de armadilhas pitfalls nas seis áreas amostradas, que foram posteriormente agrupadas em duas categorias de ambientes (AIH e BIH). Na Equação 1, a representa o número de espécies compartilhadas entre os locais, enquanto b e c representam o número de espécies exclusivas de cada local. Se a composição das espécies for a mesma entre os locais, o valor é 0, e se a composição for completamente diferente, o valor é 1.

$$\frac{b + c}{a + b + c} = 1 - J \quad (1)$$

A diversidade beta foi analisada utilizando análise de dispersão multivariada (PERMDISP), com base na dissimilaridade de Jaccard, calculada a partir de dados de presença/ausência coletados utilizando armadilhas pitfalls. As diferenças na heterogeneidade composicional entre os dois tipos de ambientes urbanos (AIH e BIH) foram testadas utilizando a função *betadisper()* do pacote *vegan* (v. 2.7.2) no R.

Para avaliar a mudança na composição funcional, foi realizada uma análise do Índice de Complementaridade para os seis grupos funcionais entre os dois tipos de ambientes urbanos (AIH e BIH) utilizando a equação 2. Quanto mais próximo de 1 for o valor de cada grupo funcional, mais distintas serão as espécies para cada tipo de ambiente (Colwell; Coddington, 1994).

$$\frac{\text{espécies compartilhadas}}{\text{total de espécies}} - 1 = \text{Cíndice} \quad (2)$$

Para investigar os fatores que influenciam o TD e o TRT dos alimentos pelas formigas, foram ajustados modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) utilizando a função `glmer()` do pacote `lme4` no R. Os efeitos fixos incluíram o nível de intervenção humana em espaços urbanos (alto ou baixo), tipo de alimento (proteína ou carboidrato), condição de exposição (sombra ou sol), período do dia (manhã ou tarde) e temperatura ambiente. O dia da amostragem foi incluído como um efeito aleatório para levar em conta a variação temporal. Ambos os modelos assumiram uma distribuição de Poisson, adequada para dados de contagem. A superdispersão do modelo foi avaliada usando a função `dispersion_glmer()` do pacote `blmeo`. Os efeitos fixos foram interpretados com base nos coeficientes estimados e nos valores *p* obtidos a partir dos resumos do modelo.

Dada a ausência de efeitos estatisticamente significativos para a TRT na análise GLMM, realizamos um teste qui-quadrado de independência adicional para investigar mais a fundo as possíveis diferenças nos padrões de remoção de alimentos entre os habitats. Essa análise exploratória categorizou os eventos de remoção de alimentos como ocorrendo dentro ou após 30 minutos e comparou sua distribuição entre ambientes com altos e baixos níveis de intervenção humana.

No nível de espécies, realizamos um índice de habilidade de descoberta (DAI) entre os dois ambientes para avaliar o potencial de cada espécie na detecção de recursos, seguindo Dáttilo e MacGregor-Fors (2021) com algumas modificações. Consideramos apenas as espécies de formigas registradas nas estações de alimento e as classificamos pelo número de vezes que cada espécie ocorreu nas estações em cada ambiente (AIH e BIH) durante 15 minutos de experimento. Em seguida, dividimos o valor de cada espécie pelo valor de frequência mais alto observado para normalizar o índice DAI e analisamos os valores mais altos como indicadores das espécies mais eficientes na descoberta de recursos disponíveis.

Também avaliamos o papel da *Pheidole obscurithorax* Naves 1985, a espécie mais frequentemente registrada nas estações, em comparação com as demais espécies da comunidade. Essa análise considerou apenas os itens alimentares com presença de formigas, seguindo a mesma categorização utilizada na comparação de remoção em nível de habitat. Um teste qui-quadrado foi realizado para determinar se a espécie mais dominante nas estações, *P. obscurithorax*, estava associada a uma proporção maior de eventos de remoção rápida de alimentos dentro e após 30 minutos.

6 RESULTADOS

6.1 Número de indivíduos coletados

Nas armadilhas pitfalls, foram coletados 751 indivíduos pertencentes a 36 espécies de formigas e 4 subfamílias. Myrmicinae foi a subfamília mais coletada ($n = 22$ esp., 61%), seguida por Formicinae ($n = 10$ esp., 28%), Ectatomminae ($n = 2$ esp., 5%) e Ponerinae ($n = 2$ esp., 5%). Entre as formigas coletadas, *Pheidole obscurithorax* foi a espécie mais ativa ($n = 396$), seguida por *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758) ($n = 97$) e *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804) ($n = 59$). Em ambientes com alta intervenção humana, as espécies mais ativas foram *P. obscurithorax*, *S. geminata* e *Pheidole radoszkowskii* Mayr, 1884. Em contrapartida, em ambientes com baixa intervenção humana, *A. sexdens*, *P. obscurithorax* e *Pachycondyla striata* Smith, 1858 foram as mais ativas (Anexo B).

Um total de 22 espécies de formigas foram registradas em 177 estações de alimento. As espécies mais frequentes em ambientes com alta e baixa intervenção humana foram *P. obscurithorax* ($n = 82$, 38%), seguida por *S. geminata* ($n = 33$, 15%) e *Pheidole oxyops* Forel, 1908 ($n = 13$, 6%). As estações de alimento em ambientes BIH exibiram maior riqueza de espécies ($n = 21$) em comparação com ambientes AIH ($n = 10$). Espécies do gênero *Pheidole* ocorreram em 53,73% das estações de alimentos (Anexo C).

6.2 Diversidade, grupos funcionais e atividade

Das 36 espécies coletadas em armadilhas pitfalls, 15 são comuns entre os dois ambientes categorizados (AIH e BIH), com 11 exclusivas de ambientes com baixa intervenção humana e 10 de ambientes com alta intervenção humana. Apenas 5 (14%) das espécies comuns também ocorreram em estações de alimento entre os dois tipos de ambientes.

A análise da riqueza de espécies entre os dois ambientes urbanos não revelou diferenças estatisticamente significativas, conforme evidenciado pelas curvas de rarefação sobrepostas (Figura 3). Em contrapartida, a composição das espécies diferiu significativamente entre os ambientes (PERMANOVA, $F = 6,5318$, $p = 0,001$, $n = 999$ permutações), assim como a diversidade Beta das espécies (PERMDISP, $F = 31,54$, $p = < 0,001$) (Figura 4). Com base no índice de Jaccard, os locais PC e IB apresentaram uma alta similaridade na composição das espécies, com o IQ apresentando uma similaridade intermediária a esses dois locais. O BC foi

o ambiente mais diferente entre os outros em termos de composição. Os locais categorizados como ambientes BIH apresentaram níveis mais elevados de heterogeneidade na composição das espécies em comparação com os locais AIH (Figura 5).

Figura 3 - Riqueza de espécies de formigas em dois tipos de ambientes urbanos (AIH = ambientes com alta intervenção humana; BIH = ambientes com baixa intervenção humana) com amostras coletadas por armadilhas pitfalls de 24 horas (15 armadilhas para cada grupo) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

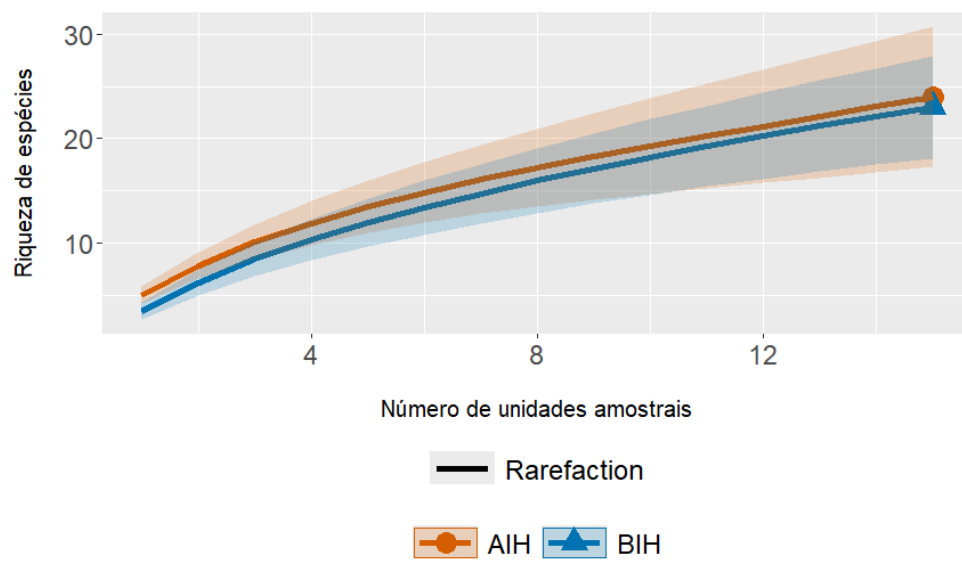


Figura 4 - Diversidade Beta baseada nas amostras coletadas em armadilhas pitfalls entre os dois tipos de ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). A diversidade Beta, medida pelo índice de Jaccard, foi diferente entre os tipos de ambientes urbanos (PERMDISP, $F = 31,54$, $p = <0,001$).

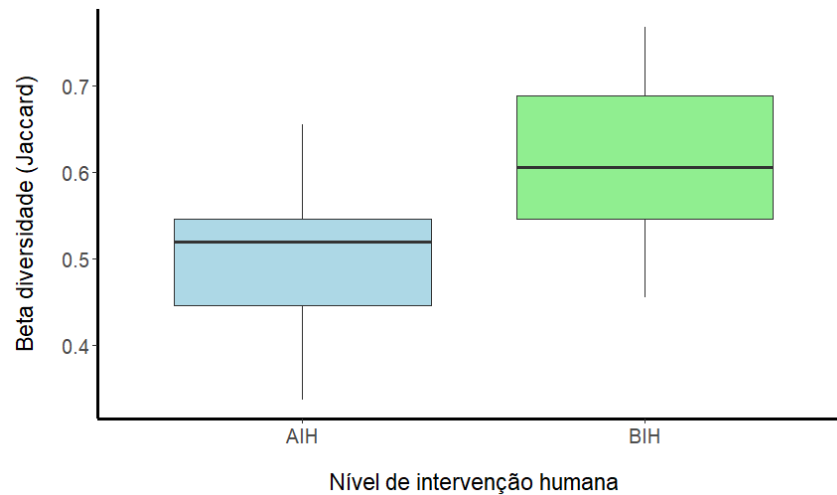
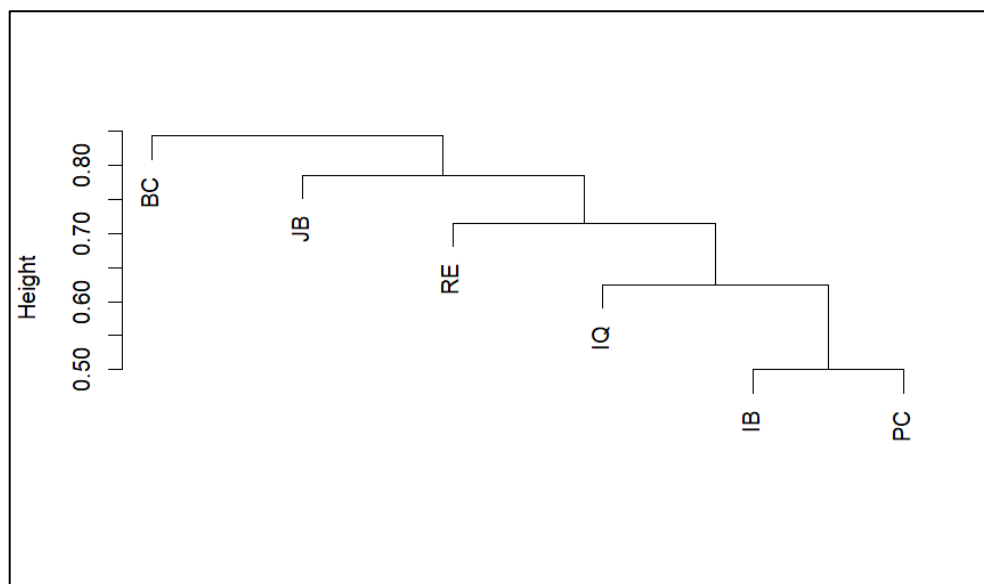


Figura 5 – Diferenças na composição de espécies entre as seis áreas amostradas no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).



Com base nas armadilhas pitfalls, o grupo dos generalistas onívoros epígeicos apresentou a maior riqueza entre os seis grupos funcionais estabelecidos, com um total de 15

espécies registradas, das quais 7 eram comuns aos dois tipos de ambientes (AIH e BIH) e 4 eram exclusivas de cada um. O grupo Cultivadores de Fungos apresentou a segunda maior riqueza, com 7 espécies, seguido pelos Onívoros Arbóreos Epígeos, com 6 espécies. O grupo funcional Cortadores de Folhas foi o menos diversificado, com apenas 1 espécie registrada (Tabela 2).

Os ambientes urbanos avaliados apresentaram diferenças significativas na atividade das formigas (teste t, $t = 2,6539$, $df = 28$, $p = 0,01297$), com áreas de altos níveis de intervenção humana apresentando maior atividade das formigas do que aquelas com baixos níveis de intervenção.

Tabela 2 - Índice de complementaridade (Cindex) dos grupos funcionais de formigas entre dois tipos de ambientes urbanos (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana), com base no número total de espécies exclusivas e compartilhadas por grupo funcional.

Grupos Funcionais	Cindex	Total de espécies	Espécies exclusivas por ambiente		Espécies compartilhadas em AIH e BIH (%)
			AIH	BIH	
Onívoros Arbóreos	1.00	3	2	1	0 (0%)
Onívoros Generalistas Epígeos	0.53	15	4	4	7 (46%)
Predadores Generalistas Epígeos	0.50	4	2	0	2 (50%)
Onívoros Epígeos-Arbóreos	0.66	6	2	2	2 (33%)
Cultivadores de Fungos	0.85	7	1	5	1 (15%)
Cortadores de Folhas	0	1	0	0	1 (100%)

6.3 Serviço ecossistêmico e papel das espécies

Os resultados indicam que tanto o tipo de habitat quanto o tipo de alimento influenciaram significativamente o TD dos fragmentos de alimentos pelas formigas. O modelo linear generalizado misto (GLMMs) revelou que o TD médio foi significativamente menor em ambientes AIH ($\beta = -0,392$, $p = 0,001$) (Figura 6). O TD médio em ambientes AIH foi aproximadamente 40% menor em comparação as amostragens nos ambientes BIH. Da mesma forma, os fragmentos de salsicha foram descobertos mais rapidamente do que os fragmentos de biscoito ($\beta = -0,263$, $p = 0,002$), sugerindo uma preferência por recursos ricos em proteínas. O

TD médio para a salsicha foi de aproximadamente 2,3 (6–10 min), enquanto para o biscoito foi de 3,0 (11–15 min) (Figura 7).

Figura 6 – TD médio de itens alimentares em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). O TD médio em ambientes AIH foi aproximadamente 40% menor do que nas amostragens em ambientes BIH (GLMMs, $\beta = -0,392$, $p = 0,001$).

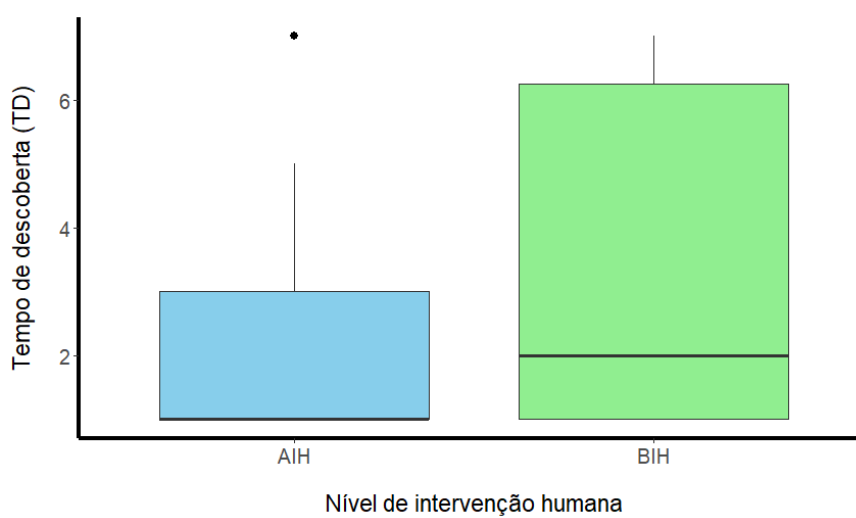
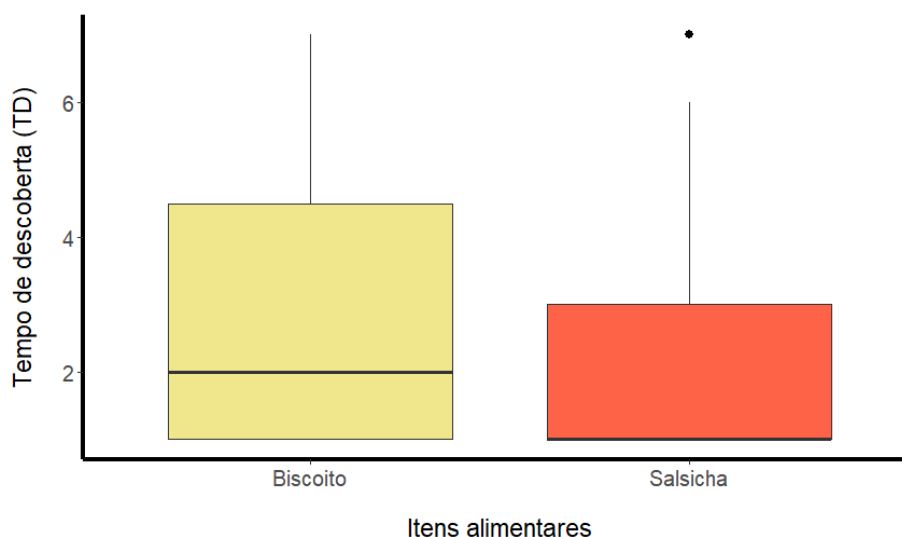


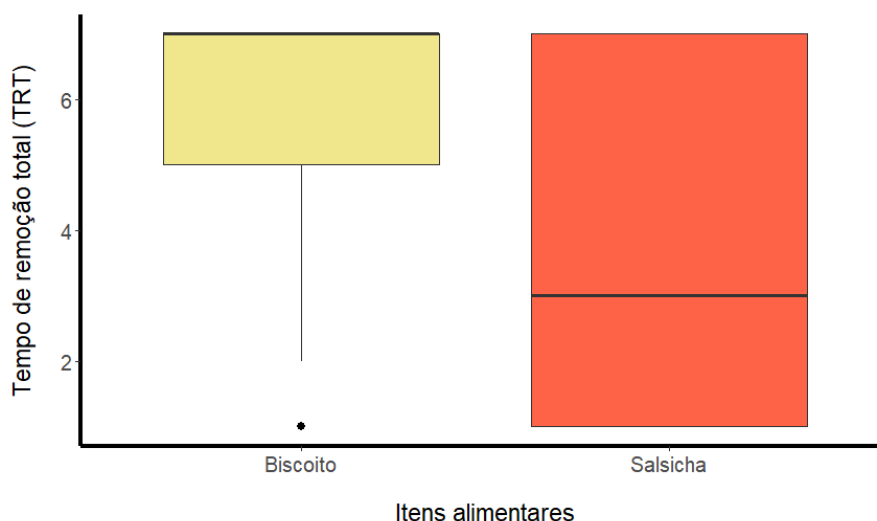
Figura 7 – TD médio de fragmentos de salsicha e biscoito oferecidos em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Os fragmentos de salsicha foram descobertos mais rapidamente do que os fragmentos de biscoito (GLMMs, $\beta = -0,263$, $p = 0,002$).



Foi observado um aumento do TD em estações expostas sob a luz do sol ($\beta = 0,153$, $p = 0,089$), potencialmente devido a fatores de estresse térmico, aumento da radiação solar ou efeitos de dessecação; no entanto, esse resultado não foi estatisticamente significativo. Nem o período do dia ($\beta = 0,133$, $p = 0,122$) e a temperatura ambiente ($\beta = -0,018$, $p = 0,348$) influenciaram significativamente a TD, indicando que esses fatores não modulam fortemente o comportamento inicial de forrageamento nesse contexto.

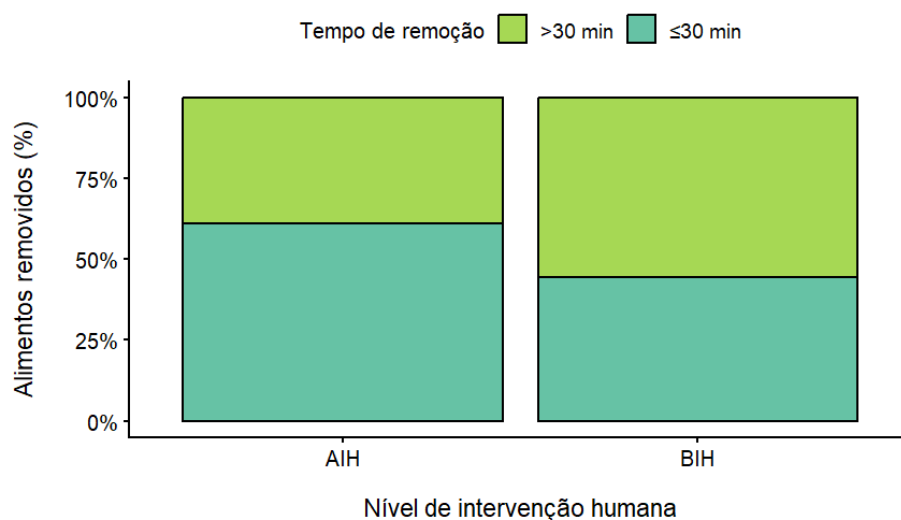
Em relação ao tempo total de remoção (TRT), apenas o tipo de alimento oferecido teve um efeito estatisticamente significativo no comportamento das formigas. Os fragmentos de salsicha foram removidos mais rapidamente do que os fragmentos de biscoito ($\beta = -0,437$, $p = 0,001$). O TRT médio para a salsicha foi de 3,8 (intervalo: 11–15 min), enquanto para o biscoito foi de 5,8 (21–25 min), refletindo uma diferença substancial na eficiência do transporte (Figura 8). Outros fatores preditivos — tipo de habitat ($\beta = -0,094$, $p = 0,133$), condição de exposição ($\beta = -0,111$, $p = 0,107$), período do dia ($\beta = -0,013$, $p = 0,837$) e temperatura ($\beta = 0,001$, $p = 0,885$) — não apresentaram efeitos significativos sobre o TRT.

Figura 8 – TRT médio de fragmentos de salsicha e biscoito oferecidos em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Os fragmentos de salsicha foram removidos mais rapidamente do que os fragmentos de biscoito (GLMMs, $\beta = -0,437$, $p = 0,001$).



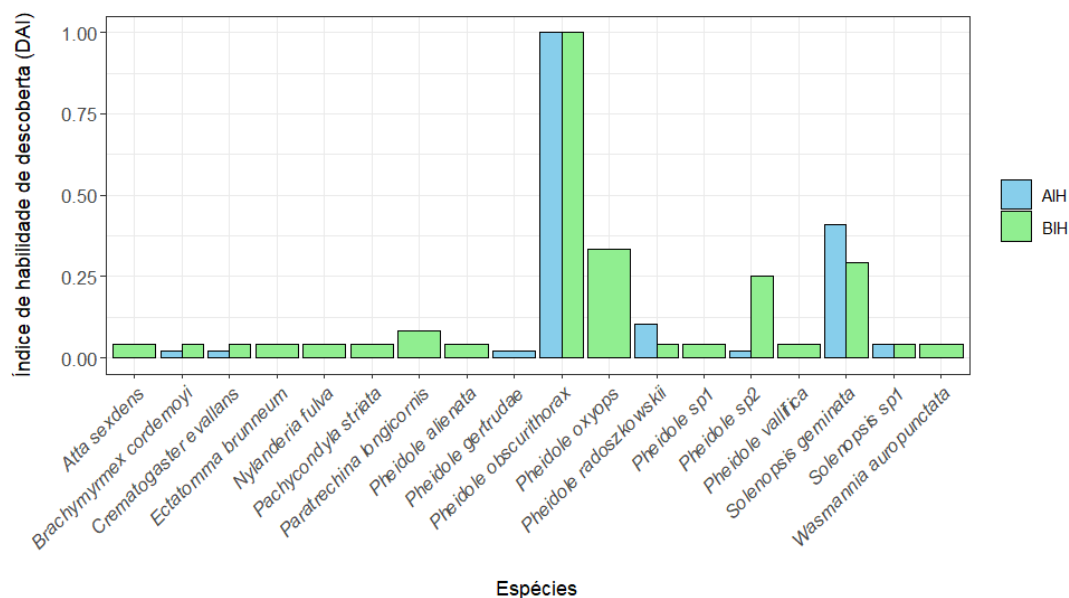
O teste qui-quadrado de independência revelou uma associação significativa entre o tipo de habitat e a porcentagem de itens alimentares removidos dentro e após 30 minutos ($\chi^2 = 5,37$, $df = 1$, $p = 0,020$) (Figura 9). Em ambientes AIH, uma porcentagem maior de fragmentos de alimentos foi removida em 30 minutos (61,1%) em comparação com ambientes BIH (44,4%). Por outro lado, em ambientes BIH, a porcentagem de alimentos removidos após 30 minutos foi maior (55,6%) do que em ambientes AIH (38,9%).

Figura 9 - Porcentagem de alimentos removidos dentro e após 30 minutos em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Uma porcentagem significativamente maior de alimentos foi removida em 30 minutos em ambientes AIH em comparação com ambientes BIH ($\chi^2 = 5,37$, $df = 1$, $p = 0,020$).



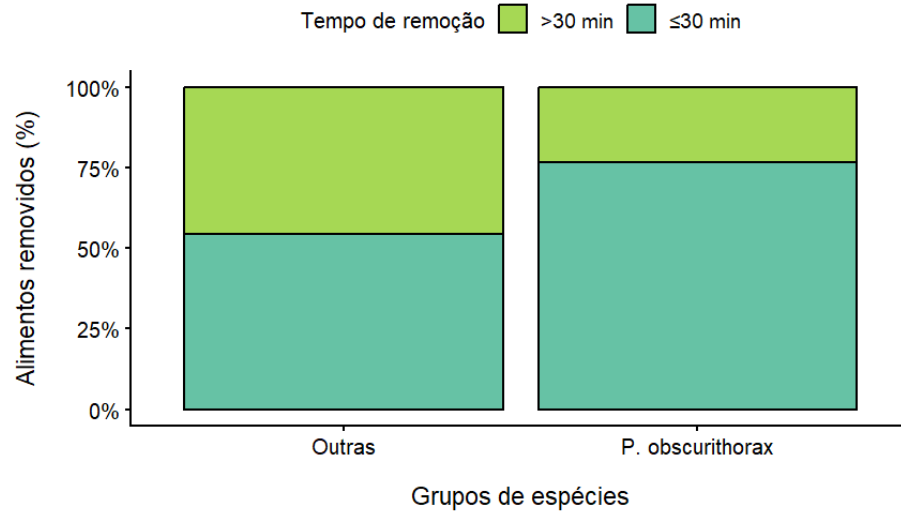
No nível das espécies, identificamos poucas espécies com alta capacidade de detectar recursos entre os dois ambientes urbanos (AIH e BIH) (Figura 10). Das 11 espécies que ocorreram nas estações de alimentos em ambientes AIH, apenas 2 (9%) apresentaram alta capacidade de descoberta. Para os ambientes BIH, apenas 4 (19%) das 21 espécies que ocorreram nas estações apresentaram alta capacidade de descoberta. *Pheidole obscurithorax* e *S. geminata* foram as únicas espécies com o índice mais alto entre os dois ambientes urbanos.

Figura 10 - Índice de habilidade de descoberta (DAI) de espécies de formigas em estações de alimentos em dois ambientes urbanos com diferentes níveis de intervenção humana (AIH = alta intervenção humana; BIH = baixa intervenção humana) no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).



Foi observada uma associação positiva entre a presença de *P. obscurithorax* e a porcentagem de alimentos removidos dentro e após 30 minutos ($\chi^2 = 8,5787$, $df = 1$, $p = 0,003$), indicando que *P. obscurithorax* removeu os alimentos proporcionalmente mais rápido do que outras espécies de formigas (Figura 11). Entre os fragmentos de alimentos removidos por *P. obscurithorax*, 60 (76,9%) foram removidos em 30 minutos e 18 (23,1%) após 30 minutos. Em contrapartida, outras espécies de formigas removeram 54 fragmentos (54,5%) em 30 minutos e 45 (45,5%) após esse período.

Figura 11 - Porcentagem de alimentos removidos dentro e após 30 minutos por *Pheidole obscurithorax*, a espécie mais frequente, e por outras espécies de formigas no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Uma porcentagem significativamente maior de alimentos foi removida em 30 minutos por *P. obscurithorax* em comparação com outras espécies ($\chi^2 = 8,5787$, $df = 1$, $p = 0,003$).



7 DISCUSSÃO

Este estudo empregou duas abordagens experimentais complementares para avaliar a relação entre a composição da comunidade de formigas e os serviços de remoção de resíduos alimentares prestados por diferentes espécies. A primeira abordagem utilizou armadilhas pitfalls durante um período de 24 horas para avaliar a atividade das formigas e a diversidade de espécies, enquanto a segunda se concentrou na análise dos tempos de descoberta e remoção de fragmentos de alimentos colocados em estações de alimentos. As armadilhas detectaram diferenças na atividade e composição das espécies de formigas entre os ambientes. Em contrapartida, as estações de alimentos revelaram uma diferença acentuada no número de espécies atraídas por fragmentos de biscoitos e salsichas, com ambientes de alta intervenção humana abrigando aproximadamente metade da riqueza de espécies observada em ambientes de baixa intervenção humana. Além disso, em ambientes de alta intervenção humana, tanto o tempo de descoberta quanto o de remoção dos fragmentos de alimentos foram menores do que os registrados em ambientes de baixa intervenção humana.

7.1 Diversidade, grupos funcionais e atividade

Aqui, foi detectado um efeito do nível de intervenção humana na composição de espécies de formigas entre os dois ambientes urbanos (AIH e BIH). Esses resultados também afetaram os grupos funcionais de formigas com base nas diferenças na riqueza e composição das espécies em cada ambiente. Esses efeitos negativos da intervenção antrópica podem estar relacionados à maior compactação do solo e maior presença de superfícies pavimentadas que afetam a construção dos ninhos pelas formigas, contribuindo para a homogeneização biótica nesses ambientes (Hosaka *et al.*, 2019; Santos; Delabie; Queiroz, 2019; Lokatis; Jeschke, 2022; Laakel *et al.*, 2024). Isso também pode estar alinhado com uma maior semelhança na composição de espécies encontrada entre ambientes categorizados como AIH em comparação com BIH. O alto nível de heterogeneidade ambiental em áreas com baixa intervenção humana permite uma manutenção mais equilibrada das espécies, ao contrário das áreas com alta intervenção humana, que exibem o mesmo padrão estrutural.

Foi detectado um efeito direto do nível de intervenção humana na atividade das formigas, com ambientes AIH apresentando níveis mais elevados de atividade. Esse padrão sugere que, embora muitas espécies sejam sensíveis às mudanças ambientais, espécies

tolerantes ou dominantes podem intensificar sua busca por alimento nesses ambientes. O comportamento desses animais ao longo do dia pode ser influenciado pela temperatura, competição e características da paisagem (Camarota *et al.*, 2018; Chen; Neoh, 2023; Harris; Stevens; Mathis, 2024). Além disso, áreas com menos recursos alimentares para formigas exigem maior eficiência na busca por fontes alternativas de alimento (Penick; Savage; Dunn, 2015), favorecendo assim espécies com estratégias de forrageamento mais eficientes em ambientes urbanos.

7.2 Serviço ecossistêmico e papel das espécies

A diferença no tempo que as formigas levaram para descobrir os restos de alimento entre os ambientes alta ou baixa intervenção humana parece estar relacionada com o domínio exercido principalmente por *Pheidole obscurithorax* nas estações de observação. Esta espécie foi frequentemente registrada tanto nas amostras das armadilhas pitfalls como nas estações de alimentos, particularmente em ambientes com alta intervenção humana, exibindo valores elevados para o índice de habilidade de descoberta e desempenhando um papel fundamental na rápida remoção dos itens alimentares — muitas vezes em menos de 30 minutos. Esse padrão destaca a importância funcional da *P. obscurithorax* na detecção e transporte de recursos alimentares em ambientes urbanizados, conforme já relatado por Sales *et al.* (2014). A espécie é conhecida por sua forte capacidade competitiva e estratégias flexíveis de forrageamento em condições ambientais variáveis (Storz; Tschinkel, 2004). O papel crítico de uma única espécie na prestação de serviços ecossistêmicos também foi relatado em estudos relacionados (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015; Hosaka *et al.*, 2019).

A alta frequência de *P. obscurithorax* nas estações de alimentos pode ter contribuído para a ausência de diferenças detectáveis na atividade entre os períodos da manhã e da tarde. Como *P. obscurithorax* desempenha um papel fundamental na detecção de recursos, é plausível que sua dominância e eficiência tenham suprimido a atividade de forrageamento de outras espécies. Um estudo anterior realizado em ambientes estruturalmente semelhantes relatou que a atividade das formigas atinge seu pico entre 9h e 15h, particularmente em áreas urbanizadas (Chen; Neoh, 2023). Como nossas observações foram realizadas principalmente dentro dessa janela de tempo, é provável que tenhamos capturado o período de pico de forrageamento de *P. obscurithorax*. Estudos futuros devem considerar a extensão do período de observação para

determinar se a dinâmica de remoção de resíduos alimentares varia ao longo do dia e se outras espécies se tornam mais ativas fora dessa janela de atividade principal.

Embora Fellers (1987) tenha proposto a existência de um trade-off entre descoberta e dominância, estudos subsequentes indicam que as espécies que detectam o recurso primeiro passam a dominá-lo, impedindo outras espécies de acessar a fonte disponível e apoiando a estratégia de descoberta-defesa (Parr; Gibb, 2012; Camarota *et al.*, 2018; Antoniazzi *et al.*, 2021; Dáttilo; MacGregor-Fors, 2021). O alto domínio de *P. obscurithorax* e *Solenopsis geminata* em estações de alimentos em ambientes com alta intervenção humana é resultado da capacidade dessas espécies de detectar e monopolizar recursos. Em áreas perturbadas, o estabelecimento dessas espécies dominantes pode reduzir as oportunidades de coexistência entre espécies com diferentes estratégias de forrageamento e, consequentemente, impactar a competição por recursos.

Uma proporção maior de fragmentos de alimentos foi completamente removida em 30 minutos em ambientes com alta intervenção humana. Apesar da alta riqueza funcional nos ambientes com baixa intervenção humana nas estações de alimentos, principalmente de predadores generalistas epígeos, os baixos valores do índice de habilidade de descoberta de espécies que ocorreram exclusivamente nos ambientes com baixa intervenção humana podem ter afetado a remoção de alimentos. Esses resultados sugerem que a alta diversidade e a presença de múltiplos grupos funcionais não garantem uma taxa mais alta de remoção de recursos, como foi relatado em outros casos (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015; Hosaka *et al.*, 2019).

A variação nos tempos de descoberta e remoção entre fragmentos de salsicha e biscoito indica uma preferência por alimentos ricos em proteínas. Esses resultados refletem a dieta adotada pelas formigas em áreas urbanas e suburbanas. Penick, Savage e Dunn (2015) relataram que o consumo de alimentos ricos em nitrogênio por formigas urbanas aumenta de acordo com o gradiente de urbanização, demonstrando que esses animais têm consumido alimentos humanos com mais frequência.

A ausência de diferenças significativas na detecção e remoção de alimentos entre as condições de exposição ou temperatura ambiente pode ser devida ao curto período de observação utilizado no experimento. O intervalo de tempo de 30 minutos pode ter limitado a capacidade de detectar mudanças comportamentais mais sutis associadas à qualidade dos alimentos ou a fatores microclimáticos. Outros estudos descobriram que esses efeitos se tornam mais evidentes em escalas temporais mais longas (Hosaka *et al.*, 2019; Chen; Neoh, 2023). As espécies de formigas em habitats perturbados poderiam demonstrar maior resiliência na

localização e remoção de alimentos sob estações expostas a luz do sol e em temperaturas elevadas, dada a sua maior tolerância às condições extremas típicas dos ambientes urbanos (Angilletta Jr. *et al.*, 2007; Diamond *et al.*, 2018).

8 CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que as formigas em ambientes urbanos conseguem detectar e remover rapidamente fragmentos de alimentos dispersos, prestando um importante serviço ao limitar a disponibilidade de recursos para espécies indesejáveis, tais como pragas e vetores de doenças. Em ambientes de alta intervenção humana (AIH), a eficiência na remoção de alimentos foi em grande parte impulsionada por um pequeno número de espécies competitivamente dominantes, em particular *Pheidole obscurithorax*, cuja elevada capacidade de detecção e monopolização de recursos acelerou as taxas de remoção. Os nossos resultados destacam como as alterações na composição e na diversidade funcional, impulsionadas pelo nível de urbanização, afetam a atividade de forrageamento das formigas e os processos ecológicos envolvidos. Estas descobertas contribuem para uma melhor compreensão da dinâmica de forrageamento das formigas em paisagens urbanas e sublinham o papel ecológico das formigas na manutenção de processos ecossistêmicos fundamentais em ambientes urbanos tropicais, que estão atualmente pouco representados na literatura científica.

9 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDERSEN, A. N. Responses of ant communities to disturbance: Five principles for understanding the disturbance dynamics of a globally dominant faunal group. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 3, p. 350-362, 2019.
- ANGILLETTA JR, M. J. *et al.* Urban physiology: city ants possess high heat tolerance. **PLoS One**, v. 2, n. 2, p. e258, 2007.
- ANTONIAZZI, R. *et al.* Discovery-defense strategy as a mechanism of social foraging of ants in tropical rainforest canopies. **Behavioral Ecology**, v. 32, n. 5, p. 1022-1031, 2021.
- ARONSON, M. F. J. *et al.* Hierarchical filters determine community assembly of urban species pools. **Ecology**, v. 97, n. 11, p. 2952-2963, 2016.
- ASHIGAR, M. A.; AB MAJID, A. H. Diversity, Abundance, and Foraging Behavior of Ants (Hymenoptera: Formicidae) Scavenging on American Cockroach in Various Habitats of Nasarawa State, Nigeria. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 43, n. 4, 2020.
- CAMAROTA, F. *et al.* Discovery and defense define the social foraging strategy of Neotropical arboreal ants. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 72, n. 7, p. 110, 2018.
- COLWELL, R. K.; CODDINGTON, J. A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 345, n. 1311, p. 101-118, 1994.
- CHEN, Y. H.; NEOH, K. B. Urbanization causes shifts in the functional traits and foraging activity, and alters food particle size preference and biomass removal of urban-dwelling ants. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 11, p. 1044485, 2023.
- DÁTTILO, W.; MACGREGOR-FORS, I. Ant social foraging strategies along a Neotropical gradient of urbanization. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 6119, 2021.
- DELABIE, J. H. C.; AGOSTI, D.; NASCIMENTO, I. C. do. Litter ant communities of the Brazilian Atlantic rain forest region. Sampling Ground-dwelling Ants: case studies from the world's rain forests. **Curtin University of Technology School of Environmental Biology Bulletin**, v. 18, 2000.
- DE CARVALHO PEREIRA, L. P. *et al.* Seasonal analysis of taxonomic and functional diversity of poneromorph ant assemblages in the Amazon Forest. **Sociobiology**, v. 63, n. 3, p. 941-949, 2016.
- DEL TORO, I.; RIBBONS, R. R.; PELINI, S. L. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). **myrmecologicalnews. org**, 2012.

- DIAMOND, S. E. *et al.* Evolution of plasticity in the city: urban acorn ants can better tolerate more rapid increases in environmental temperature. **Conservation Physiology**, v. 6, n. 1, p. coy030, 2018.
- ESTRADA, M. A. *et al.* Influência de áreas verdes urbanas sobre a mirmecofauna. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 162–169, 2014.
- ESTRADA, M. A. *et al.* Ant functional groups and their effects on other insects in organic and conventional cropping areas. **Entomobrasilis**, v. 16, n. 16, p. 3, 2023.
- FEITOSA, R. M.; DIAS, A. M. An illustrated guide for the identification of ant subfamilies and genera in Brazil. **Insect Systematics & Evolution**, v. 55, n. 5, p. 451–571, 2024.
- FELLERS, J. H. Interference and exploitation in a guild of woodland ants. **Ecology**, v. 68, n. 5, p. 1466–1478, 1987.
- FOLGARAIT, P. J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. **Biodiversity & Conservation**, v. 7, n. 9, p. 1221–1244, 1998.
- GRIFFITHS, H. M. *et al.* Ants are the major agents of resource removal from tropical rainforests. **Journal of Animal Ecology**, v. 87, n. 1, p. 293–300, 2018.
- GROC, S. *et al.* Leaf-litter ant communities (Hymenoptera: Formicidae) in a pristine Guianese rainforest: stable functional structure versus high species turnover. **Myrmecological News**, v. 19, p. 43–51, 2014.
- HARRIS, B. A.; STEVENS, D. R.; MATHIS, K. A. The effect of urbanization and temperature on thermal tolerance, foraging performance, and competition in cavity-dwelling ants. **Ecology and Evolution**, v. 14, n. 2, p. e10923, 2024.
- HÖLLDOBLER, Bert; WILSON, Edward O. **The ants**. Harvard University Press, 1990.
- HOSAKA, T. *et al.* Ant assemblages on littered food waste and food removal rates in urban–suburban parks of Tokyo. **Basic and Applied Ecology**, v. 37, p. 1–9, 2019.
- KAMURA, C. M. *et al.* Ant communities (Hymenoptera: Formicidae) in an urban ecosystem near the Atlantic Rainforest. **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, n. 4, p. 635–641, 2007.
- LAAKEL, N. *et al.* Diversity and species composition of ants in urban and suburban environments in Bejaia City (Algeria). **Sociobiology**, v. 71, n. 2, p. e9698–e9698, 2024.
- LANHOSO, H. *et al.* Composition and inter-species relationships within ant communities across differentially anthropized urban environments: a case study. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 44, n. 1, p. 129–138, 2024.
- LAVELLE, P. *et al.* Soil invertebrates and ecosystem services. **European journal of soil biology**, v. 42, p. S3–S15, 2006.
- LOKATIS, S.; JESCHKE, J. M. Urban biotic homogenization: Approaches and knowledge

gaps. **Ecological Applications**, v. 32, n. 8, p. e2703, 2022.

MACEDO, L. P. M.; BERTI FILHO, E.; DELABIE, J. H. C. Epigeal ant communities in Atlantic Forest remnants of São Paulo: a comparative study using the guild concept. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 1, p. 75-78, 2011.

MCGLYNN, T. P. The worldwide transfer of ants: geographical distribution and ecological invasions. **Journal of biogeography**, v. 26, n. 3, p. 535-548, 1999.

MCKINNEY, M. L. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 2, p. 161–176, 2008.

ORIVEL, J. *et al.* Ant communities and urbanization: insights from tropical territories in French overseas regions. **Urban Ecosystems**, v. 28, n. 5, p. 185, 2025.

PACHECO, R.; VASCONCELOS, H. L. Invertebrate conservation in urban areas: ants in the Brazilian Cerrado. **Landscape and Urban Planning**, v. 81, n. 3, p. 193–199, 2007.

PARR, C. L.; GIBB, H. The discovery–dominance trade-off is the exception, rather than the rule. **Journal of Animal Ecology**, v. 81, n. 1, p. 233-241, 2012.

PENICK, C. A.; SAVAGE, A. M.; DUNN, R. R. Stable isotopes reveal links between human food inputs and urban ant diets. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1806, p. 20142608, 2015.

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

SALES, T. A. *et al.* Competitive Interactions in Ant Assemblage in a Rocky Field Environment: Is Being Fast and Attacking the Best Strategy?. **Sociobiology**, v. 61, n. 3, p. 258-264, 2014.

SANFORD, M. P.; MANLEY, P. N.; MURPHY, D. D. Effects of urban development on ant communities: implications for ecosystem services and management. **Conservation Biology**, v. 23, n. 1, p. 131–141, 2009.

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

SANTOS, M. N.; DELABIE, J. H.; QUEIROZ, J. M. Biodiversity conservation in urban parks: a study of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) in Rio de Janeiro City. **Urban Ecosystems**, v. 22, n. 5, p. 927–942, 2019.

SILVESTRE, R.; BRANDÃO, C. R. F.; SILVA, R. R. da. Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del Cerrado. **Introducción a las Hormigas de las Región Neotropical**, Fernández, F. ed. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá. Colombia. 113-148p, 2003.

STORZ, S. R.; TSCHINKEL, W. R. Distribution, spread, and ecological associations of the

introduced ant *Pheidole obscurithorax* in the southeastern United States. **Journal of Insect Science**, v. 4, n. 1, p. 12, 2004.

TAN, C. K.; CORLETT, R. T. Scavenging of dead invertebrates along an urbanisation gradient in Singapore. **Insect Conservation and Diversity**, v. 5, n. 2, p. 138–145, 2012.

VIOLANTE, G. M. *et al.* Biodiversity in the city: effects of local and landscape characteristics on ant community in urban squares of Rio de Janeiro, Brazil. **Urban Ecosystems**, v. 29, n. 1, p. 31, 2026.

YOUNGSTEADT, E. *et al.* Habitat and species identity, not diversity, predict the extent of refuse consumption by urban arthropods. **Global Change Biology**, v. 21, n. 3, p. 1103–1115, 2015.

CAPÍTULO II

EFEITO DA PRESENÇA DA ESPÉCIE INVASORA *PHEIDOLE MEGACEPHALA* (FABRICIUS, 1793) (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) NA REMOÇÃO DE RESTOS DE ALIMENTOS EM ÁREAS URBANAS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

10 CAPÍTULO II: Efeito da presença da espécie invasora *Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793) (Hymenoptera: Formicidae) na remoção de restos de alimentos em áreas urbanas na cidade do Rio de Janeiro

RESUMO

As formigas (Hymenoptera: Formicidae) participam de uma ampla variedade de serviços ecossistêmicos em ambientes urbanos, auxiliando na manutenção e no equilíbrio das paisagens verdes existentes nas grandes cidades. Recentemente, alguns estudos relataram a importância das formigas urbanas na reciclagem de restos de alimentos humanos nas cidades, que é um serviço benéfico para o bem estar das pessoas e para o saneamento urbano. No entanto, pouco se sabe sobre como as espécies invasoras, comumente encontradas nesses ambientes, afetam esses serviços. Neste estudo, avaliamos como a frequência de ocorrência da espécie invasora formiga-cabeçuda (*Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793)) influencia na remoção de restos de alimentos na cidade do Rio de Janeiro. Foram selecionadas 24 praças e 5 parques urbanos para investigar o serviço ecossistêmico prestado pelas formigas. Em cada local, foram disponibilizados porções de biscoito e salsicha distribuídas em 20 estações de observação. Foram empregadas duas métricas para medir a eficiência das espécies na provisão do serviço ecossistêmico: Tempo de descoberta (TD) e Tempo de remoção total (TRT) das porções de alimentos. A frequência da espécie invasora *P. megacephala* esteve positivamente associada com a descoberta e remoção de restos de alimentos em praças. A condição de exposição das porções de alimentos e a presença de árvores no entorno também influenciaram o TD e o TRT. Verificamos que as espécies que detectam o recurso mais rapidamente são as mesmas que o removem mais rápido. Os resultados obtidos sugerem que *P. megacephala* possa ser a principal espécie na remoção dos restos alimentares nas praças públicas do Rio de Janeiro, sendo a sua frequência de ocorrência um fator chave para a intensificação desse serviço ecossistêmico. Esses resultados são importantes para avaliar o papel e os impactos das espécies invasoras sobre os ambientes urbanos.

Palavras-chave: Ecologia urbana, ecologia de comunidades, comportamento, insetos sociais, Mata atlântica.

11 INTRODUÇÃO

Em ambientes urbanos, as formigas (Hymenoptera: Formicidae) são agentes importantes para a reciclagem de recursos descartados e acumulados nas cidades, proporcionando a limpeza desses locais (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015; Hosaka *et al.*, 2019; Chen; Neoh, 2023). A reciclagem de matéria orgânica nas cidades, realizada pelas formigas, pode reduzir a disponibilidade de recursos para animais diretamente relacionados com a saúde pública, como moscas, ratos e baratas (Tan; Corlett, 2012; Youngsteadt *et al.*, 2015; Ashigar; Ab Majid, 2020). Por conta da alta eficiência nessa função, a presença das formigas nas cidades pode ser fundamental para o equilíbrio dos ecossistemas urbanos (Youngsteadt *et al.*, 2015).

Diversos estudos comprovam a eficiência da detecção e remoção de recursos por formigas (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015; Hosaka *et al.*, 2019; Chen; Neoh, 2023). Em parques urbanos e suburbanos da cidade de Tóquio, por exemplo, as formigas são capazes de remover cerca de 6 g de restos de alimentos em 24 horas, incluindo pedaços de presunto, biscoito e batatas chips (Hosaka *et al.*, 2019). As altas taxas de remoção de restos de alimentos realizada por artrópodes em canteiros centrais e parques urbanos na cidade de Nova Iorque estão positivamente associadas com a presença de determinadas espécies de formigas urbanas (Youngsteadt *et al.*, 2015). A taxa de consumo de restos de alimentos por esses insetos pode ser comparável à de mamíferos urbanos que também exploram alimentos de origem humana (Penick; Savage; Dunn, 2015).

Apesar dos estudos relacionados a remoção de recursos, existem lacunas no entendimento dos mecanismos e interações que influenciam nesse serviço realizado por formigas em ambientes urbanos (Santos, 2016). Os ambientes urbanos apresentam diversos filtros antrópicos, que são capazes de gerar impactos diretos sobre a diversidade e composição das comunidades, afetando a dinâmica dos processos ecológicos e da provisão de serviços ecossistêmicos (Aronson *et al.*, 2016, 2017; Andersen, 2019). Além disso, a ação de diferentes agentes estressores – como a escassez de recursos naturais, a grande oferta de restos de alimentos processados, o aumento da superfície impermeável e altas temperaturas – tornam essas áreas mais suscetíveis à introdução de espécies exóticas, provocando alterações na comunidade nativa e, conseqüentemente, nos serviços ecossistêmicos urbanos (Vilà *et al.*, 2017).

Dentre os diversos casos de espécies de formigas exóticas em zonas urbanas, *Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793) se destaca como uma das principais ameaças a biodiversidade

nativa (Wetterer, 2007). Essa espécie é frequentemente encontrada em áreas perturbadas e pode dominar extensas áreas, resultando na redução da diversidade de formigas nativas e outros invertebrados presentes nesses locais (Hoffmann, 1998; Hoffmann; Andersen; Hill, 1999; Wetterer, 2007; Dejean *et al.*, 2008; Milligan; Prior; Palmer, 2016). Entretanto, apesar do amplo conhecimento do impacto negativo sobre comunidades nativas, apenas um estudo investigou os efeitos da presença de *P. megacephala* sobre os processos ecológicos (Milligan; Prior; Palmer, 2016). A investigação dos efeitos de espécies invasoras em sistemas que são mais vulneráveis a introdução de espécies exóticas são importantes para medir os reais impactos dessa espécie nas funções ecológicas (Strayer, 2012; Vilà *et al.*, 2017).

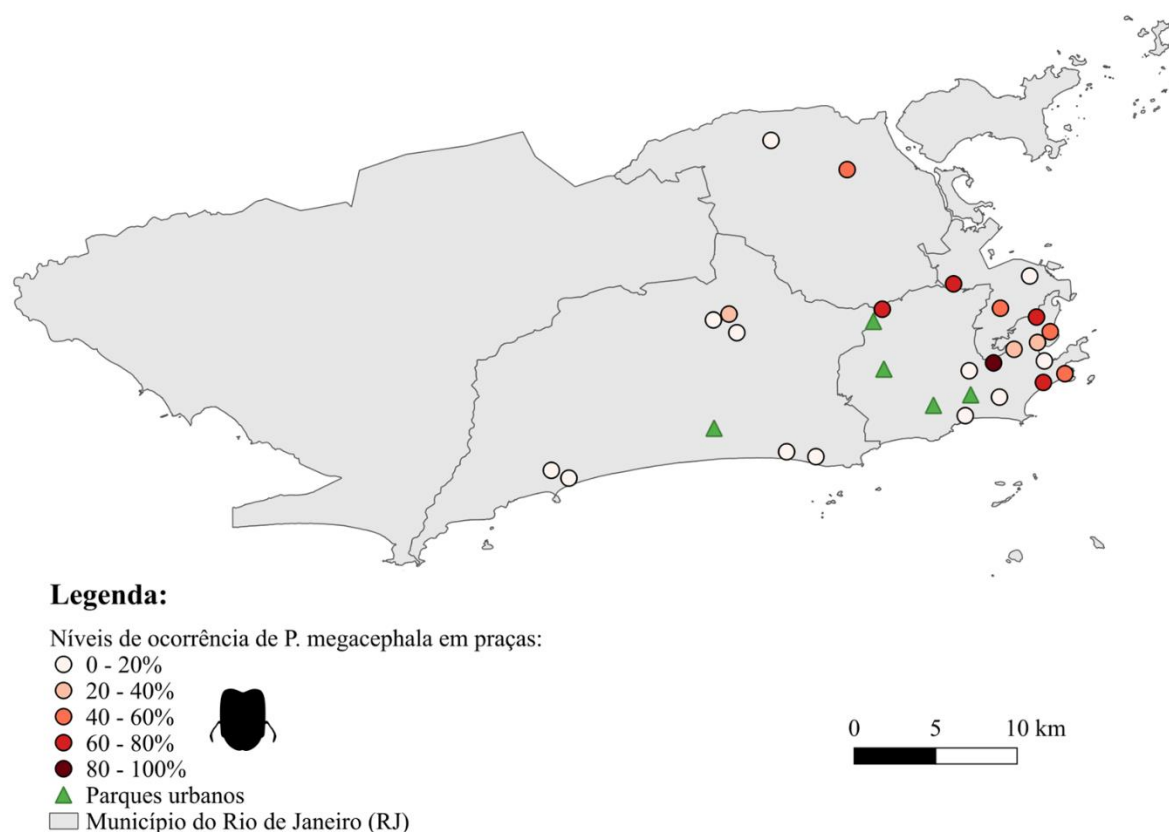
Portanto, diante desse cenário, foi avaliado no presente estudo como diferentes níveis de ocorrência de *P. megacephala*, influenciam a descoberta e remoção de restos de alimentos em praças e parques urbanos localizados na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Foram utilizadas duas métricas de eficiência para medir a capacidade das espécies na realização desse serviço: Tempo de descoberta (TD) e Tempo de remoção total (TRT). As seguintes hipóteses foram testadas: 1) A monopolização dos recursos por espécies dominantes aumenta a eficiência na descoberta e remoção de restos de alimentos em áreas urbanas; 2) Os restos alimentares são descobertos e removidos mais rápidos em locais com alta frequência de ocorrência de *P. megacephala* em comparação com locais de baixa frequência; 3) As características locais urbanas (*e.g.* quantidade de árvores em torno, condição de exposição do alimento) e condições micro ambientais (*e.g.* período do dia, temperatura) modulam a dinâmica de forrageamento das formigas, impactando na descoberta e remoção de restos de alimentos humanos.

12 MATERIAL E MÉTODOS

12.1 Locais de estudo e nível de ocorrência

O estudo foi realizado em 24 praças e 5 parques na cidade do Rio de Janeiro, totalizando 29 locais. A seleção das praças foi baseada na ocorrência de *P. megacephala* observada anteriormente (Violante *et al.*, 2026). A frequência de ocorrência de *P. megacephala* nas praças foi obtida com base no número de amostras em que a espécie ocorreu a partir do total amostrado em cada praça por Violante *et al.* (2026). Além disso, foram selecionados 5 parques urbanos para representar ambientes de referência, com base na baixa frequência de *P. megacephala* em áreas naturais da cidade (Santos; Delabie; Queiroz, 2019). Os parques selecionados foram: Parque Nacional da Tijuca, Parque Natural Municipal da Cidade, Parque Natural Municipal Bosque da Barra, Parque das Figueiras e Parque Estadual do Grajaú (Figura 12).

Figura 12 - Mapa do município do Rio de Janeiro contendo as 24 praças com diferentes níveis de ocorrência de *P. megacephala* e os 5 parques urbanos selecionados para a amostragem do estudo.



Adaptado de Violante *et al.* (2026).

12.2 Desenho experimental

Em cada praça e parque, foram disponibilizadas 20 estações de alimentos para a amostragem das formigas, sendo 10 de biscoito e 10 de salsicha. Os valores nutricionais dos alimentos se encontram no anexo A. As estações de amostragem foram estabelecidas em intervalos de 10 m de acordo com as dimensões do local. Cada alimento foi ofertado separadamente em placas de acetato (7 x 7 cm) fixadas no solo por palitos de madeira em suas extremidades laterais (Figura 13). As placas de acetato garantem uma boa visibilidade para identificação e coleta de formigas, além de proporcionar certa estabilidade contra choques mecânicos e outros possíveis contratemplos.

Figura 13 - Estações de alimento disponibilizadas em praças e parques sob placas de acetato (7 x 7 cm); **A)** Pedaco de salsicha sendo removida formigas; **B)** Pedaco de biscoito sendo removido por formigas.



Fonte: Própria.

Os experimentos foram realizados entre 23 de outubro de 2024 e 19 de fevereiro de 2025, em dias sem chuva, em dois períodos: das 09:00 às 12:00, e das 13:00 às 16:00, com duração de 1 hora. Utilizou-se uma quantidade padronizada (50 mg), com tamanhos entre 0,5 e 1 cm, de cada tipo de alimento. Para cada período do dia, foram disponibilizadas 10 estações de alimentos, sendo 5 para cada tipo de alimento. Os itens alimentares foram colocados de modo intercalado em cada placa de acetato com base no tipo de alimento para não interferir na

escolha das formigas pelo tipo de recurso (proteína x carboidrato). Todas as estações foram monitoradas ativamente durante o período de experimento para observar a atividade de remoção e as espécies de formigas presentes na placa.

Algumas operárias das espécies de formigas observadas removendo os alimentos foram coletadas nas estações de amostragem e depois realocadas em frascos com álcool 70% para posterior identificação. Para não gerar interferências nas atividades das formigas e no processo de remoção dos alimentos, a coleta de indivíduos na estação foi evitada quando havia poucos indivíduos e, em casos de agrupamentos massivos, foi realizada normalmente, priorizando indivíduos em torno da placa. Em ambos os casos, a coleta durante a movimentação do alimento sob a placa não foi realizada.

Todas as espécies coletadas foram identificadas ao menor nível taxonômico possível com base no material de Violante *et al.* (2026) já devidamente identificado por um especialista, além da coleção de referência do Laboratório de Ecologia, Conservação e Mirmecologia (UFRRJ) e a chave taxonômica para gêneros do Brasil de Feitosa e Dias (2024).

12.3 Fatores abióticos

Para a medição da temperatura do ar durante a realização dos experimentos, foi utilizado um Termo-Higroanemômetro-Luxímetro Digital - LM8000. A medição foi realizada três vezes para obtenção de um valor médio, sendo as medições feitas uma no início, uma durante e outra ao final do experimento.

12.4 Características locais

Para indicar as condições de exposição, foi observado se cada estação de alimento disponibilizada se encontrava sob o sol ou sob a sombra durante todo o período de exposição. Em dias plenamente nublados, foi considerado que as estações se encontravam sob a sombra devido à ausência da luz solar direta sobre a placa de acetato. A quantidade de árvores próximas às estações também foi medida para verificar possíveis diferenças no tempo de resposta das formigas de acordo com as características locais. Para isso, foi registrado o número de árvores presentes em um raio de 1 metro ao redor de cada estação de alimento. Em seguida, foi somado a quantidade total de árvores registradas para as 20 estações para obter o número total por local.

Foram incluídas apenas árvores com altura superior à de 2 metros, sendo as demais excluídas da amostragem.

12.5 Tempo de descoberta (TD) e remoção total (TRT)

Para avaliar a eficácia na descoberta e remoção dos alimentos pelas formigas, todas as estações de alimentos foram observadas ativamente dentro de um período de 1 hora, como mencionado anteriormente. Foram utilizados dois critérios previamente definidos para medir a eficiência: o Tempo de Descoberta (TD) e o Tempo de Remoção Total (TRT) dos alimentos oferecidos nos locais. Para definir o TD, foi considerado a presença de duas ou mais formigas em uma estação e/ou apenas uma formiga (na ocasião desta estar removendo o alimento sozinha) a partir do momento em que a estação de alimento foi disponibilizada. Para definir o TRT, foi considerado a remoção completa do alimento sobre a placa de acetato. Em situações em que o alimento ficou preso nos palitos de madeira ou em qualquer outro obstáculo ocasional, o TRT também foi reconhecido. Nos casos em que não ocorreram nenhuma espécie na estação, o TD e TRT foi contabilizado da mesma forma.

12.6 Análises estatísticas

Para avaliar os fatores que influenciaram o tempo de descoberta e o tempo de remoção total dos restos de alimentos pelas formigas, foi utilizado o modelo de riscos proporcionais de Cox (Cox proportional hazards model) (Cox, 1972). Esse modelo é adequado para dados de tempo censurados pois incorpora esses valores nos cálculos de razão de risco, promovendo maior robustez em estudos ecológicos com análises de tempo (Cox, 1972; Landes; Engelhardt; Pelletier, 2020). Observações censuradas foram consideradas para os casos em que a estação de alimento não foi descoberta e nem removida durante o tempo máximo de observação (60 minutos). Além disso, essa análise já foi utilizada em outros estudos que utilizaram valores de tempo cronometrados para investigar a remoção de matéria orgânica por formigas em áreas urbanas (Tan; Corlett, 2012). O modelo foi ajustado utilizando a função `coxme()` do pacote `survival` (v. 3.8.3) no software R (4.4.1), e a verificação do ajuste foi feita por meio da função `cox.zph()`, que testa a suposição de proporcionalidade dos riscos com base nos resíduos de Schoenfeld (Therneau, 2026). A significância dos fatores foi avaliada com base nos valores de

p ($< 0,05$) e os valores de porcentagem (%) entre as variáveis significativas foram interpretadas de acordo com os valores de HR (razão de risco) oriundos do resultado modelo.

O tempo de descoberta (TD) e o tempo de remoção total (TRT) foram tratados como variáveis dependentes. Os efeitos fixos incluídos na análise foram: frequência de ocorrência de *P. megacephala* em praças e parques, temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), tipo de alimento (proteína ou carboidrato), período do dia (manhã ou tarde), condição de exposição (sol ou sombra) e quantidade de árvores em um raio de 1 metro das estações. As praças e os parques urbanos foram incluídos como fator aleatório no modelo para garantir o controle da variabilidade de cada local.

No nível de espécies, foi realizado um Índice de Habilidade de Descoberta (DAI) e um Índice de Habilidade de Remoção (RAI) para analisar a eficiência das espécies na descoberta e remoção dos alimentos ofertados. Para o DAI, foi utilizada a mesma abordagem adotada por Camarota *et al.* (2018) e Dáttilo e MacGregor-Fors (2021). Foi classificado o número de vezes que cada espécie detectou a estação dentro de 15 minutos e dividido pelo maior valor observado para normalizar o índice DAI. Para o RAI, foi classificado o número de vezes que cada espécie removeu a estação dentro de 30 minutos e normalizado pelo valor mais alto observado. Como os índices variam de 0 a 1, as espécies de formigas mais eficientes apresentam um valor de classificação maior em cada processo. Para avaliar uma associação entre os índices DAI e RAI, foi realizado um teste de correlação de Spearman com base nos valores ranqueados de cada espécie, com o intuito de verificar se as espécies que descobrem o recurso mais rapidamente também removem de modo mais rápido. Todas as análises foram realizadas no R (4.4.1).

13 RESULTADOS

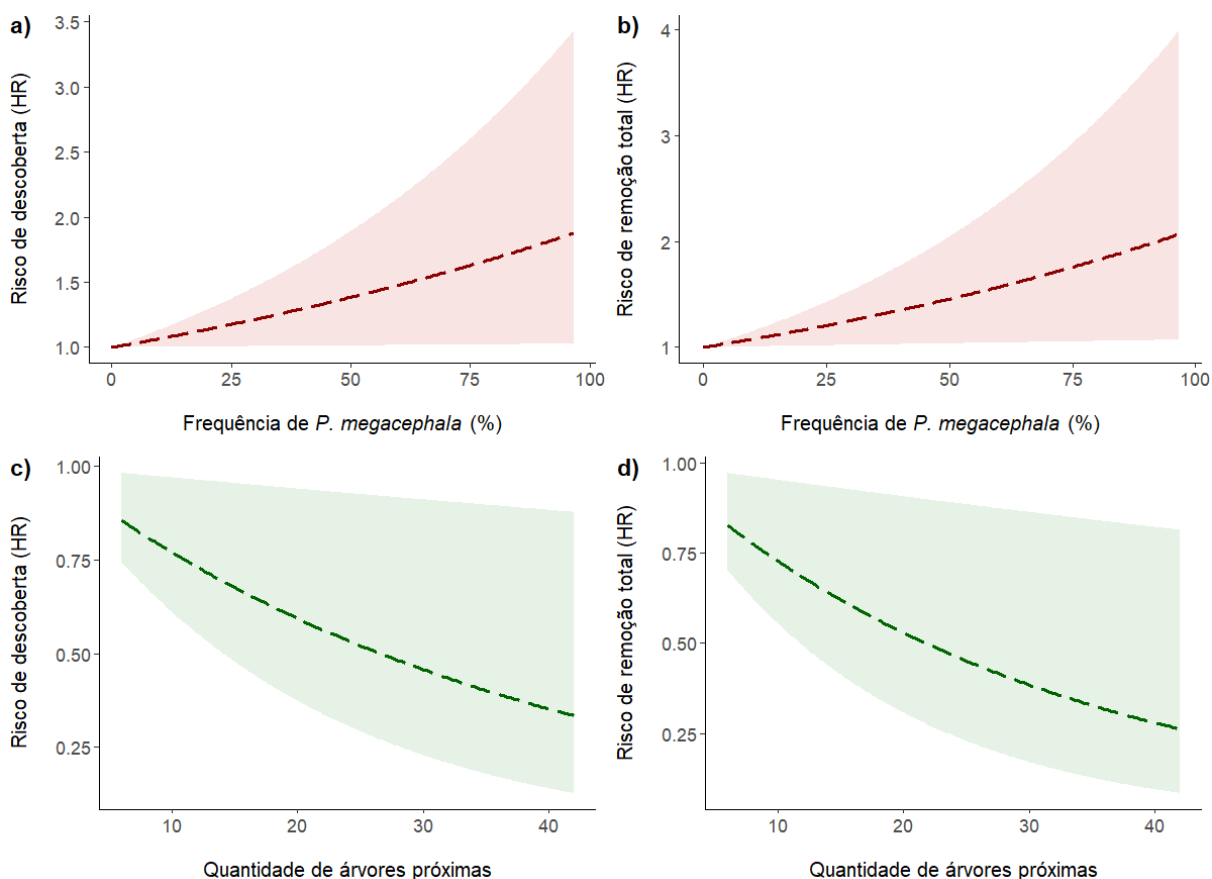
No total, foram detectadas 44 espécies de formigas pertencentes a 5 subfamílias em 446 estações de alimento das 580 disponibilizadas nas praças e parques urbanos (Anexo D). A subfamília mais frequente nas estações de alimento foi Myrmicinae (n = 28 espécies, 64%); depois vieram Formicinae (n = 7 espécies, 16%), Ectatomminae (n = 4 espécies, 9%), Ponerinae (n = 3 espécies, 7%) e Dolichoderinae (n = 2 espécies, 4%). *Pheidole* (n = 14 espécies, 32%) foi o gênero mais frequente nas estações de alimento, seguido de *Solenopsis* (n = 5 espécies, 11%) e *Brachymyrmex* (n = 3 espécies, 7%). A espécie mais frequente nas estações foi *Pheidole megacephala* (n = 176, 30%), seguida de *Pheidole obscurithorax* Naves, 1985 (n = 49, 8%) e *Pheidole subarmata* Mayr, 1884 (n = 44, 7%).

13.1 Tempo de descoberta (TD) e remoção total (TRT)

Com base no modelo Cox, a frequência de ocorrência da espécie invasora esteve associada à chance de descoberta e remoção dos restos de alimentos em praças e parques urbanos (Figura 14 A, B). O risco de descoberta de fragmentos de alimento aumentou cerca de 65% com base no aumento da frequência de ocorrência de *P. megacephala* em praças e parques (COX, $z = 2.04$, $p = 0.040$) (Figura 14 A), enquanto o risco de remoção total aumentou cerca de 75% (COX, $z = 2.17$, $p = 0.030$) (Figura 14 B).

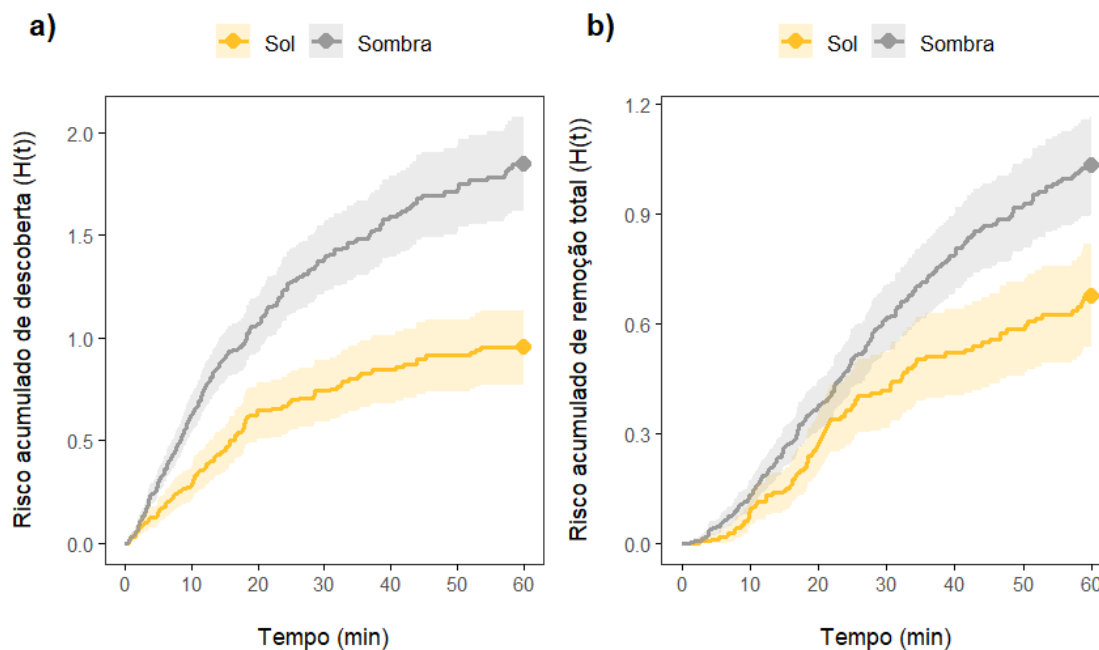
A quantidade de árvores próximas as estações de alimento influenciou negativamente o TD e o TRT em praças e parques urbanos (Figura 14 C, D). O risco de descoberta de fragmentos de alimentos diminuiu cerca de 53% (COX, $z = -2.28$, $p = 0.022$) (Figura 14 C), enquanto o risco de remoção total diminuiu cerca de 65% de acordo com a presença de árvores próximas (COX, $z = -2.37$, $p = 0.017$) (Figura 14 D).

Figura 14 - Risco de descoberta e remoção total (HR) de restos de alimentos em áreas verdes na cidade do Rio de Janeiro. **A)** Risco de descoberta dos alimentos em relação a frequência de *P. megacephala* (%) (COX, $z = 2.04$, $p = 0.040$). **B)** Risco de remoção total dos alimentos em relação a frequência de *P. megacephala* (%) (COX, $z = 2.17$, $p = 0.030$). **C)** Risco de descoberta dos alimentos em relação a quantidade de árvores próximas (COX, $z = -2.28$, $p = 0.022$). **D)** Risco de remoção total dos alimentos em relação a quantidade de árvores próximas (COX, $z = -2.37$, $p = 0.017$).



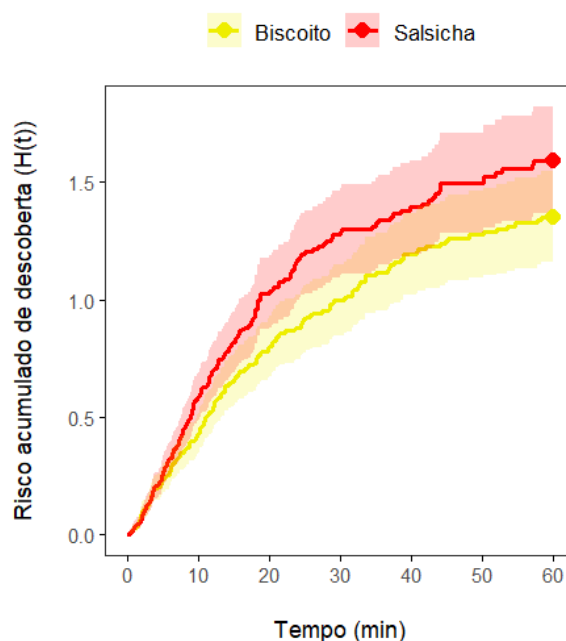
As estações de alimentos disponibilizadas sob diferentes condições também apresentaram variações no TD e TRT com base nos resultados do modelo Cox (Figura 15). Em relação ao TD, as estações disponibilizadas sob a sombra apresentaram o dobro de risco de descoberta (122%) em comparação com as expostas sob o sol (COX, $z = 6.83$, $p < 0.001$) (Figura 15 A). Em relação ao TRT, as estações disponibilizadas sob a sombra apresentaram um aumento de 76% de risco de remoção em comparação com as expostas sob o sol (COX, $z = 4.40$, $p < 0.001$) (Figura 15 B).

Figura 15 - Variação do tempo de descoberta (TD) e remoção total (TRT) de restos de alimentos sob diferentes condições de exposição. **A)** Risco acumulado ($H(t)$) de descoberta de estações de alimento disponibilizadas sob o sol e a sombra (COX, $z = 6.83$, $p = < 0.001$). **B)** Risco acumulado ($H(t)$) de remoção total de estações de alimento disponibilizadas sob o sol e a sombra (COX, $z = 4.40$, $p = < 0.001$).



O TD entre os dois tipos de alimentos disponibilizados também apresentou variação. As estações com salsicha apresentaram um risco maior de descoberta (21%) em comparação com as estações de biscoito (COX, $z = 2.00$, $p = 0.045$) (Figura 16). Em relação ao TRT, as duas fontes de alimento não apresentaram diferenças significativas (COX, $z = 1.62$, $p = 0.104$). O período do dia (manhã ou tarde) não apresentou diferença para o TD (COX, $z = 1.49$, $p = 0.137$) e o TRT (COX, $z = 1.04$, $p = 0.300$). A temperatura não exibiu diferença para o TD (COX, $z = 0.54$, $p = 0.587$) e apresentou uma leve influência sobre o TRT das estações de alimentos, mas não atingiu a significância estatística (COX, $z = 1.74$, $p = 0.082$).

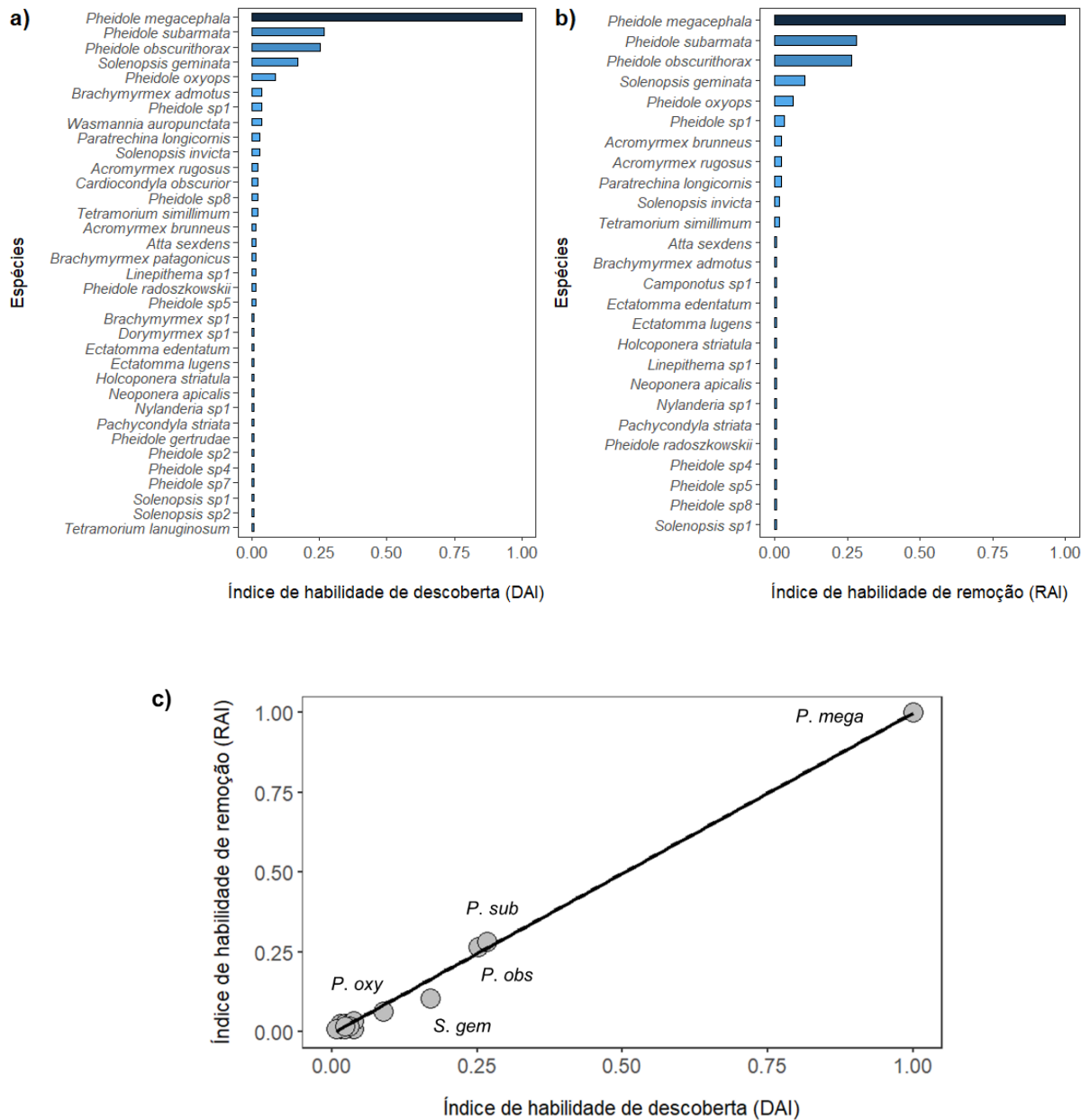
Figura 16 - Risco acumulado ($H(t)$) de descoberta de diferentes restos de alimento (COX, $z = 2.00$, $p = 0.045$). Os restos de salsicha apresentaram um risco maior de descoberta (21%) em comparação com os de biscoito.



13.2 Índice de habilidade de descoberta (DAI) e remoção (RAI)

Ao todo, 35 espécies de formigas foram registradas no índice DAI (Figura 17 A) e 26 espécies no índice RAI (Figura 17 B). Em ambos os índices, poucas espécies apresentaram alta eficiência na descoberta e remoção de alimentos durante o período de exposição em praças e parques urbanos. A espécie invasora *P. megacephala* se destacou como a mais eficiente na descoberta e remoção, seguido das espécies nativas *P. subarmata* e *P. obscurithorax*. A espécie nativa *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804) também apresentou alta eficiência na descoberta de recursos, porém, apresentou baixos valores de eficiência na remoção. Foi observado uma associação positiva entre o Índice de Habilidade de Descoberta (DAI) e o Índice de Habilidade de Remoção (RAI) das espécies de formigas (Spearman, $\rho = 0.83$, $p = < 0.001$) (Figura 17 C), indicando que as espécies que tendem a detectar o recurso mais rapidamente também são mais eficientes na remoção dele.

Figura 17 - Relação entre descoberta e remoção de restos de alimentos em praças e parques urbanos na cidade do Rio de Janeiro. A) Valores do Índice de habilidade de descoberta (DAI) das espécies de formigas. B) Valores do Índice de Habilidade de Remoção (RAI) das espécies de formigas. C) Relação entre os índices DAI e RAI com base nas espécies de formigas mais eficientes (Spearman, $\rho = 0.83$, $p = < 0.001$). **Abreviações:** *P. mega* – *Pheidole megacephala*; *P. sub.* – *Pheidole subarmata*; *P. obs.* – *Pheidole obscurithorax*; *S. gem.* – *Solenopsis geminata*; *P. oxy.* – *Pheidole oxyops*.



14 DISCUSSÃO

Neste estudo, foi possível demonstrar como a frequência de uma espécie exótica invasora pode influenciar na descoberta e remoção de restos de alimentos disponíveis em áreas urbanas. Os resultados obtidos no presente estudo representam um dos poucos registros de serviços benéficos prestados por *P. megacephala* em áreas onde a espécie foi introduzida, sendo este o primeiro relato sobre a remoção de restos de alimentos humanos em ambientes urbanos. Outros estudos demonstraram efeitos benéficos de *P. megacephala* no controle biológico em sistemas agrícolas (Lagnaoui *et al.*, 2000; Jones *et al.*, 2001; Moreno; Gonzálvez, 2007) e na remoção de artrópodes mortos em zonas urbanas (Tan; Corlett, 2012). Estudos anteriores que investigaram o mesmo serviço também destacaram a importância de espécies de formigas não nativas na reciclagem de restos de alimentos humanos em áreas urbanas (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015), sugerindo que a presença de certas espécies exóticas pode gerar efeitos positivos por meio da reciclagem de matéria orgânica acumulada nas cidades.

O aumento nos riscos de descoberta e remoção de restos de alimentos em locais com alta ocorrência de *P. megacephala* indica que essa espécie atua como um importante agente na reciclagem de restos de alimentos deixados em ambientes urbanos. Esses resultados sugerem também que o nível de frequência da espécie é um fator chave para a intensificação desse serviço ecossistêmico. Dejean, Kenne e Moreau (2007a) identificaram que, em áreas amplamente dominadas por *P. megacephala*, as taxas de predação de cupins são superiores em comparação com áreas de baixo domínio, superando as espécies nativas de formigas da região na captura de presas. Esse padrão de sucesso relacionado ao domínio populacional pode também se refletir na exploração de recursos dispersos em ambientes onde a espécie foi introduzida. Além disso, *P. megacephala* apresenta variações nas estratégias de forrageamento sob diferentes condições, recrutando poucas operárias para presas menores e um recrutamento massivo na captura de presas maiores (Dejean *et al.*, 2007b; Dejean *et al.*, 2008; San Juan; Azémar; Dejean, 2025). Esses fatores contribuem para sua elevada eficiência na exploração e competição por recursos contra outras espécies, principalmente em ambientes invadidos.

Apesar do efeito positivo sobre a reciclagem de restos de alimentos, é importante ressaltar que a manutenção dessa espécie exótica invasora em áreas urbanas pode gerar impactos negativos sobre a diversidade de espécies de formigas e outros grupos de invertebrados nativos, conforme já relatado em estudos anteriores (Hoffmann, 1998; Hoffmann; Andersen; Hill, 1999; Wetterer, 2007; Dejean *et al.*, 2008; Milligan; Prior; Palmer, 2016). Embora Violante *et al.* (2026) não tenham relatado um efeito negativo da densidade de *P.*

megacephala sobre a diversidade de formigas nativas nos mesmos locais, nossos resultados devem ser interpretados com cautela, uma vez que avaliamos apenas um tipo de serviço, e a monopolização de recursos alimentares pode ter um impacto negativo direto sobre a comunidade de espécies nativas a longo prazo.

O efeito negativo da quantidade de árvores próximas às estações sobre os riscos de descoberta e remoção de restos de alimentos sugere como as características locais do ambiente afetam esse serviço. Embora a quantidade total de alimento removido não tenha sido quantificada, observamos uma maior proporção de estações de alimentos não detectadas em parques urbanos e em praças com maior cobertura vegetal, o que sugere menores taxas de remoção nesses ambientes em relação às praças mais antropizadas. Esses resultados são coerentes com outros estudos que relataram que a remoção de restos de alimentos humanos é maior em locais com alto nível de pavimentação em comparação com áreas mais verdes, como parques urbanos e suburbanos (Penick; Savage; Dunn, 2015; Youngsteadt *et al.*, 2015; Hosaka *et al.*, 2019). Hosaka *et al.* (2019) argumentaram que a elevada disponibilidade de recursos naturais em áreas preservadas pode resultar em menores proporções de remoção de alimentos processados introduzidos nesses ambientes.

Ainda que a quantidade de árvores tenha exercido um efeito negativo sobre a reciclagem de restos de alimentos humanos, é importante ressaltar que o aumento de áreas verdes em espaços públicos urbanos pode promover a ampliação de recursos disponíveis e nichos ecológicos essenciais para a manutenção da biodiversidade nativa, como relatado nas praças urbanas do Rio de Janeiro (Violante *et al.*, 2026) e em outros tipos de áreas verdes da cidade (Santos; Delabie; Queiroz, 2019). Nesse sentido, a implementação de praças e parques urbanos mais arborizados pode contribuir para a conservação de outros serviços ecológicos não abordados neste estudo, como a dispersão de sementes (Thompson; McLachlan, 2007; Dolabela *et al.*, 2026), o enriquecimento nutricional do solo (Lopes *et al.*, 2011) e o controle de insetos que se alimentam das plantas (Philpott; Bichier, 2017).

O aumento nos riscos de descoberta e remoção de alimentos disponibilizados sob a sombra revelam aspectos importantes no comportamento de forrageamento das formigas urbanas. Tanto em parques quanto em praças, observamos que as formigas evitaram estações expostas sob à luz solar direta e, em alguns casos, interromperam o processo de remoção após a descoberta, abandonando o alimento, diferentemente do observado em estações sob a sombra. Acreditamos que os alimentos disponibilizados sob a sombra sejam mais atrativos para as formigas por serem mais frescos e oferecem menor risco de dessecação a esses animais. Apesar da alta tolerância térmica de formigas urbanas (Angilletta *et al.*, 2007; Diamond *et al.*, 2018),

o elevado risco de desidratação associado à exploração de recursos sob condições extremas pode não compensar o custo energético envolvido.

Detectamos que em algumas praças com alta frequência de ocorrência de *P. megacephala*, as estações de alimentos foram dominadas por outras espécies nativas, como *P. obscurithorax* e *S. geminata*. Esse padrão também foi observado em parques urbanos onde *P. megacephala* não ocorreu. Esses resultados sugerem que tais espécies nativas podem assumir o papel funcional ocupado por *P. megacephala* na reciclagem de restos de alimentos humanos em ambientes urbanos. A monopolização de estações, em alguns casos, em áreas dominadas por *P. megacephala* e os altos valores nos índices DAI e RAI em relação ao restante da comunidade, indicam que *P. obscurithorax* e *S. geminata* apresentam um bom potencial competitivo na exploração de recursos, podendo disputar territórios com a espécie invasora em zonas urbanas.

Neste estudo, verificamos que as espécies que detectam o recurso mais rapidamente são as mesmas que o removem mais rápido. O tamanho pequeno dos alimentos (0,5-1 cm) utilizados em nosso estudo pode ter influenciado esses resultados, pois favorece a manipulação individual e a remoção rápida dos itens, reduzindo a possibilidade de disputas interespecíficas pelos recursos. As taxas de remoção de alimentos humanos em ambientes urbanos e suburbanos variam de acordo com o tamanho do recurso (Chen; Neoh, 2023). Além disso, os alimentos ofertados não atraíram todos os grupos funcionais de formigas presentes nas áreas de estudo (Violante *et al.*, 2026), o que favorece a monopolização de estações apenas pelas espécies que consomem esses resíduos alimentares. Ainda assim, esses resultados destacam a habilidade intrínseca de certas espécies em explorar recursos alternativos, fornecendo informações importantes sobre a dinâmica de forrageamento em microescala em ambientes urbanos e revelando padrões com potencial de influenciar a estrutura das comunidades de formigas urbanas.

15 CONCLUSÃO

Este estudo destaca um dos poucos registros de efeitos benéficos potenciais prestados por uma espécie exótica invasora sobre um serviço. A alta frequência de *P. megacephala* foi determinante para o aumento no risco de descoberta e remoção de restos de alimentos em praças e parques urbanos na cidade do Rio de Janeiro, fornecendo um serviço mais eficiente de reciclagem de resíduos alimentares descartados em ambientes urbanos. A remoção mais rápida desses recursos pode promover a redução de alimentos disponíveis para animais vetores de doenças, como ratos e moscas. Ainda assim, esses resultados acendem um alerta, uma vez que a monopolização desses recursos por *P. megacephala* pode desencadear efeitos diretos sobre as comunidades de espécies nativas presentes em áreas urbanas. Além disso, nossos resultados ressaltam como as características locais, bem como, as condições de exposição e o tipo de alimento, também influenciam na dinâmica de forrageamento por recursos de formigas urbanas. Essas descobertas preenchem uma lacuna importante sobre o comportamento e os serviços ecológicos prestados por formigas urbanas em ambientes neotropicais, além do conhecimento acerca dos impactos provocados por espécies exóticas invasoras sobre serviços ecossistêmicos, pouco abordados na literatura científica até o momento.

16 REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, A. N. Responses of ant communities to disturbance: Five principles for understanding the disturbance dynamics of a globally dominant faunal group. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 3, p. 350-362, 2019.
- ANGILLETTA JR, M. J. *et al.* Urban physiology: city ants possess high heat tolerance. **PLoS One**, v. 2, n. 2, p. e258, 2007.
- ARONSON, M. F. J. *et al.* Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 4, p. 189–196, 2017.
- ARONSON, M. F. J. *et al.* Hierarchical filters determine community assembly of urban species pools. **Ecology**, v. 97, n. 11, p. 2952-2963, 2016.
- ASHIGAR, M. A.; AB MAJID, A. H. Diversity, Abundance, and Foraging Behavior of Ants (Hymenoptera: Formicidae) Scavenging on American Cockroach in Various Habitats of Nasarawa State, Nigeria. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 43, n. 4, 2020.
- CAMAROTA, F. *et al.* Discovery and defense define the social foraging strategy of Neotropical arboreal ants. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 72, n. 7, p. 110, 2018.
- COX, D. R. Regression models and life-tables. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 34, n. 2, p. 187–202, 1972.
- CHEN, Y. H.; NEOH, K. B. Urbanization causes shifts in the functional traits and foraging activity, and alters food particle size preference and biomass removal of urban-dwelling ants. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 11, p. 1044485, 2023.
- DÁTTILO, W.; MACGREGOR-FORS, I. Ant social foraging strategies along a Neotropical gradient of urbanization. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 6119, 2021.
- DEJEAN, A.; KENNE, M.; MOREAU, C. S. Predatory abilities favour the success of the invasive ant *Pheidole megacephala* in an introduced area. **Journal of Applied Entomology**, v. 131, n. 9–10, p. 625–629, 2007a.
- DEJEAN, A. *et al.* The predatory behavior of *Pheidole megacephala*. **Comptes Rendus Biologies**, v. 330, n. 9, p. 701–709, 2007b.
- DEJEAN, A. *et al.* The raiding success of *Pheidole megacephala* on other ants in both its native and introduced ranges. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 8, p. 631–635, 2008.
- DIAMOND, S. E. *et al.* Evolution of plasticity in the city: urban acorn ants can better tolerate more rapid increases in environmental temperature. **Conservation Physiology**, v. 6, n. 1, p. coy030, 2018.
- DOLABELA, B. M. *et al.* Little things in the cities: green spaces management shapes species centrality in ant-diaspore network in a vast Tropical City. **Urban Ecosystems**, v. 29, n. 2, p.

75, 2026.

FEITOSA, R. M.; DIAS, A. M. An illustrated guide for the identification of ant subfamilies and genera in Brazil. **Insect Systematics & Evolution**, v. 55, n. 5, p. 451–571, 2024.

HOFFMANN, B. D. The big-headed ant *Pheidole megacephala*: a new threat to monsoonal northwestern Australia. **Pacific Conservation Biology**, v. 4, n. 3, p. 250–255, 1998.

HOFFMANN, B. D.; ANDERSEN, A. N.; HILL, G. J. Impact of an introduced ant on native rain forest invertebrates: *Pheidole megacephala* in monsoonal Australia. **Oecologia**, v. 120, n. 4, p. 595–604, 1999.

HÖLLDOBLER, Bert; WILSON, Edward O. **The ants**. Harvard University Press, 1990.

HOSAKA, T. *et al.* Ant assemblages on littered food waste and food removal rates in urban–suburban parks of Tokyo. **Basic and Applied Ecology**, v. 37, p. 1–9, 2019.

JONES, V. P. *et al.* Relationship between community structure and southern green stink bug (Heteroptera: Pentatomidae) damage in macadamia nuts. **Environmental Entomology**, v. 30, n. 6, p. 1028–1035, 2001.

LAGNAOUI, A. *et al.* A sustainable pest management strategy for sweetpotato weevil in Cuba: a success story. Food & Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. **Extension Bulletin**. www.agnet.org/library/eb, 2000.

LANDES, J.; ENGELHARDT, S. C.; PELLETIER, F. An introduction to event history analyses for ecologists. **Ecosphere**, v. 11, n. 10, p. e03238, 2020.

LOPES, J. F. S. *et al.* Internal architecture and population size of *Acromyrmex subterraneus molestans* (Hymenoptera, Formicidae) nests: Comparison between a rural and an urban area. **Sociobiology**, v. 58, n. 3, p. 593–605, 2011.

MILLIGAN, P. D.; PRIOR, K. M.; PALMER, T. M. An invasive ant reduces diversity but does not disrupt a key ecosystem function in an African savanna. **Ecosphere**, v. 7, n. 10, p. e01502, 2016.

MORENO, L. L. V.; GONZÁLVEZ, E. F. Manejo agroecológico de plagas y enfermedades en la agricultura urbana: Estudio de caso ciudad de La Habana, Cuba. **Agroecología**, v. 2, p. 21–31, 2007.

PENICK, C. A.; SAVAGE, A. M.; DUNN, R. R. Stable isotopes reveal links between human food inputs and urban ant diets. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1806, p. 20142608, 2015.

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

PHILPOTT, S. M.; BICHER, P. Local and landscape drivers of predation services in urban gardens. **Ecological Applications**, v. 27, n. 3, p. 966–976, 2017.

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

SANTOS, M. N.; DELABIE, J. H.; QUEIROZ, J. M. Biodiversity conservation in urban parks: a study of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) in Rio de Janeiro City. **Urban Ecosystems**, v. 22, n. 5, p. 927–942, 2019.

SAN JUAN, A.; AZÉMAR, F.; DEJEAN, A. *Pheidole megacephala*: An invasive ant that raids colonies of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. **Ecology**, v. 106, n. 5, p. e70113, 2025.

STRAYER, D. L. Eight questions about invasions and ecosystem functioning. **Ecology letters**, v. 15, n. 10, p. 1199-1210, 2012.

TAN, C. K.; CORLETT, R. T. Scavenging of dead invertebrates along an urbanisation gradient in Singapore. **Insect Conservation and Diversity**, v. 5, n. 2, p. 138–145, 2012.

THERNEAU, T. *et al.* A package for survival analysis in R. R package version, v. 2, n. 7, p. 2026.

THOMPSON, B.; MCLACHLAN, S. The effects of urbanization on ant communities and myrmecochory in Manitoba, Canada. **Urban Ecosystems**, v. 10, n. 1, p. 43–52, 2007.

VILÀ, M. *et al.* (Ed.). **Impact of biological invasions on ecosystem services**. Cham: Springer, 2017.

VIOLANTE, G. M. *et al.* Biodiversity in the city: effects of local and landscape characteristics on ant community in urban squares of Rio de Janeiro, Brazil. **Urban Ecosystems**, v. 29, n. 1, p. 31, 2026.

WETTERER, J. K. Biology and impacts of Pacific Island invasive species. 3. The African big-headed ant, *Pheidole megacephala* (Hymenoptera: Formicidae). **Pacific Science**, v. 61, n. 4, p. 437–456, 2007.

YOUNGSTEADT, E. *et al.* Habitat and species identity, not diversity, predict the extent of refuse consumption by urban arthropods. **Global Change Biology**, v. 21, n. 3, p. 1103–1115, 2015.

17 CONCLUSÕES GERAIS

As formigas são elementos importantes na reciclagem de restos de alimentos humanos espalhados em ambientes urbanos. O papel desempenhado por esses animais na remoção de resíduos acumulados poderia promover a redução de recursos disponíveis para animais de importância médico-sanitária, como baratas e ratos, gerando um serviço benéfico tanto para a saúde pública quanto para o saneamento urbano. Em diferentes escalas amostrais na região metropolitana do Rio de Janeiro, a dominância de uma única espécie – nativa ou exótica – demonstrou ser um fator determinante para a eficiência desse serviço ecossistêmico. Observamos que fatores locais – como nível de intervenção humana, condições de exposição, presença de árvores e tipo de alimento – também são capazes de influenciar o comportamento de forrageamento das formigas urbanas. Os resultados apresentados aqui ressaltam a importância de avaliar como a estrutura das comunidades de formigas, bem como os fatores locais, influenciam na dinâmica dos processos ecológicos em zonas urbanas. Além disso, esses achados fornecem contribuições valiosas sobre a dinâmica de serviços ecossistêmicos em ambientes neotropicais, ainda pouco abordados na literatura científica.

18 ANEXOS

Anexo A. Informações nutricionais dos alimentos (salsicha e biscoito) utilizados no estudo I e II.

Alimentos (Fabricante)	Proteínas (g/%)	Carboidratos (g/%)	Lipídios (g/%)	Fonte
Biscoito maizena 175g (Piraquê)	2g/4%	22g/7%	5.6g/13%	Rótulo
Salsicha 500g (Sadia)	15g/15%	2g/0%	22g/27%	Rótulo

Anexo B. Abundância das espécies de formigas coletadas em armadilhas pitfalls em ambientes com alta e baixa intervenção humana no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Espécies	Grupo Funcional	Ambientes	
		AIH	BIH
<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)	Cortadores de Folhas	1	96
<i>Brachymyrmex patagonicus</i> Mayr, 1868	Onívoros Generalistas Epígeos	9	0
<i>Brachymyrmex</i> sp1	Onívoros Generalistas Epígeos	2	2
<i>Brachymyrmex</i> sp2	Onívoros Generalistas Epígeos	0	1
<i>Brachymyrmex</i> sp3	Onívoros Generalistas Epígeos	4	0
<i>Cardiocondyla obscurior</i> Wheeler, 1929	Onívoros Arbóreos	1	0
<i>Camponotus crassus</i> Mayr, 1862	Onívoros Epígeos-Arbóreos	0	2
<i>Camponotus</i> sp1	Onívoros Epígeos-Arbóreos	2	0
<i>Camponotus</i> sp2	Onívoros Epígeos-Arbóreos	1	0
<i>Camponotus</i> sp3	Onívoros Epígeos-Arbóreos	0	1
<i>Crematogaster crinosa</i> Mayr, 1862	Onívoros Arbóreos	0	1
<i>Crematogaster obscurata</i> Emery, 1895	Onívoros Arbóreos	1	0
<i>Cyphomyrmex</i> sp1	Cultivadores de Fungos	0	5
<i>Cyphomyrmex</i> sp2	Cultivadores de Fungos	0	2
<i>Cyphomyrmex transversus</i> Emery, 1894	Cultivadores de Fungos	26	0
<i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858	Predadores Generalistas Epígeos	1	11
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	Predadores Generalistas Epígeos	3	0
<i>Mycocepurus goeldii</i> (Forel, 1893)	Cultivadores de Fungos	1	5
<i>Mycocepurus smithii</i> (Forel, 1893)	Cultivadores de Fungos	0	2
<i>Myrmicocrypta squamosa</i> Smith, 1860	Cultivadores de Fungos	0	1
<i>Nylanderia fulva</i> (Mayr, 1862)	Onívoros Generalistas Epígeos	0	1
<i>Odontomachus bauri</i> Emery, 1892	Predadores Generalistas Epígeos	1	0
<i>Pachycondyla striata</i> Smith, 1858	Predadores Generalistas Epígeos	1	18
<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)	Onívoros Generalistas Epígeos	1	2
<i>Pheidole obscurithorax</i> Naves, 1985	Onívoros Generalistas Epígeos	324	72
<i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908	Onívoros Generalistas Epígeos	16	0
<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr, 1884	Onívoros Generalistas Epígeos	41	14
<i>Pheidole subarmata</i> Mayr, 1884	Onívoros Generalistas Epígeos	0	1
<i>Sericomyrmex mayri</i> Forel, 1912	Cultivadores de Fungos	0	1
<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius, 1804)	Onívoros Generalistas Epígeos	53	6
<i>Solenopsis</i> sp1	Onívoros Generalistas Epígeos	1	2
<i>Solenopsis</i> sp2	Onívoros Generalistas Epígeos	0	1
<i>Strumigenys</i> sp1	Onívoros Generalistas Epígeos	7	2
<i>Tetramorium simillimum</i> (Smith, 1851)	Onívoros Generalistas Epígeos	1	0
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	Onívoros Epígeos-Arbóreos	2	5
<i>Wasmannia rochai</i> Forel, 1908	Onívoros Epígeos-Arbóreos	6	5

Notas: AIH - Ambientes com alta intervenção humana; BIH - Ambientes com baixa intervenção humana.

Anexo C. Frequência de formigas por estação de alimento entre ambientes com alta e baixa intervenção humana no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Espécies	Grupo Funcional	Ambientes						Total	%
		AIH			BIH				
		IB	PC	IQ	JB	RE	BC		
<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)	Cortadores de Folhas	0	0	0	1	0	0	1	0,46%
<i>Brachymyrmex cordemoyi</i> Forel, 1895	Onívoros Generalistas Epígeos	2	0	0	1	0	1	4	1,85%
<i>Cardiocondyla emeryi</i> Forel, 1881	Onívoros Arbóreos	0	0	0	1	0	0	1	0,46%
<i>Crematogaster evallans</i> Forel, 1907	Onívoros Arbóreos	0	0	1	0	1	0	2	0,93%
<i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858	Predadores Generalistas Epígeos	0	0	0	0	1	0	1	0,46%
<i>Linepithema neotropicum</i> Wild, 2007	Onívoros Generalistas Epígeos	0	0	0	0	0	1	1	0,46%
<i>Nylanderia fulva</i> (Mayr, 1862)	Onívoros Generalistas Epígeos	0	0	0	1	0	0	1	0,46%
<i>Pachycondyla striata</i> Smith, 1858	Predadores Generalistas Epígeos	0	0	0	2	0	0	2	0,93%
<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)	Onívoros Generalistas Epígeos	0	0	0	2	0	1	3	1,39%
<i>Pheidole alienata</i> Borgmeier, 1929	Onívoros Generalistas Epígeos	0	0	0	1	0	0	1	0,46%
<i>Pheidole gertrudae</i> Forel, 1886	Onívoros Generalistas Epígeos	1	0	0	0	0	0	1	0,46%
<i>Pheidole obscurithorax</i> Naves, 1985	Onívoros Generalistas Epígeos	8	24	23	8	11	8	82	38,0%
<i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908	Onívoros Generalistas Epígeos	0	0	0	10	1	2	13	6,02%
<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr, 1884	Onívoros Generalistas Epígeos	4	0	2	0	1	0	7	3,24%
<i>Pheidole</i> sp1	Onívoros Generalistas Epígeos	0	0	0	1	0	0	1	0,46%
<i>Pheidole</i> sp2	Onívoros Generalistas Epígeos	0	1	0	2	1	6	10	4,63%
<i>Pheidole vallifica</i> Forel, 1901	Onívoros Generalistas Epígeos	0	0	0	1	0	0	1	0,46%
<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius, 1804)	Onívoros Generalistas Epígeos	7	8	9	1	4	4	33	15,2%
<i>Solenopsis</i> sp1	Onívoros Generalistas Epígeos	1	1	0	0	2	0	4	1,85%

<i>Solenopsis</i> sp2	Onívoros Generalistas Epígeos	0	1	0	1	0	0	2	0,93%
<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius, 1793)	Onívoros Generalistas Epígeos	1	0	0	0	0	1	2	0,93%
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	Onívoros Epígeos-Arbóreos	0	0	0	0	0	2	2	0,93%
Estações s/formigas		10	0	2	6	12	9	39	18,0%
Total de estações de alimento		36	36	36	36	36	36	216	100%

Notas: AIH - Ambientes com alta intervenção humana; BIH - Ambientes com baixa intervenção humana; IB - Instituto de Biologia; PC - Pavilhão Central; IQ - Instituto de Química; JB - Jardim Botânico; RE - Residências Estudantis; BC - Biblioteca Central.

Anexo D. Frequência de formigas por estações de alimentos disponibilizadas em praças e parques urbanos na cidade do Rio de Janeiro.

Espécies	Ambientes urbanos		Total	%
	Praças	Parques		
<i>Acromyrmex atrina</i> Fisher, 2025	7	0	7	1,2%
<i>Acromyrmex rugosus</i> (Smith, 1858)	4	0	4	0,7%
<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)	4	0	4	0,7%
<i>Brachymyrmex admotus</i> Mayr, 1887	13	3	16	2,7%
<i>Brachymyrmex patagonicus</i> Mayr, 1868	3	2	5	0,8%
<i>Brachymyrmex</i> sp1	1	0	1	0,1%
<i>Cardiocondyla obscurior</i> Wheeler, 1929	5	0	5	0,8%
<i>Camponotus</i> sp1	1	0	1	0,1%
<i>Camponotus</i> sp2	1	0	1	0,1%
<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	1	0	1	0,1%
<i>Dorymyrmex</i> sp1	2	0	2	0,3%
<i>Ectatomma brunneum</i> Smith, 1858	0	1	1	0,1%
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	0	1	1	0,1%
<i>Ectatomma lugens</i> Emery, 1894	0	1	1	0,1%
<i>Holcponera striatula</i> (Mayr, 1884)	2	1	3	0,5%
<i>Linepithema</i> sp1	1	1	2	0,3%
<i>Megalomyrmex</i> sp1	0	1	1	0,1%
<i>Neoponera apicalis</i> (Latreille, 1802)	0	1	1	0,1%
<i>Neoponera villosa</i> (Fabricius, 1804)	1	0	1	0,1%
<i>Nylanderia</i> sp1	0	1	1	0,1%
<i>Pachycondyla striata</i> Smith, 1858	0	2	2	0,3%
<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)	7	0	7	1,2%
<i>Pheidole gertrudae</i> Forel, 1886	0	1	1	0,1%
<i>Pheidole megacephala</i> (Fabricius, 1793)	176	0	176	30%
<i>Pheidole obscurithorax</i> Naves, 1985	42	7	49	8,4%
<i>Pheidole oxyops</i> Forel, 1908	6	11	17	3,0%
<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr, 1884	2	0	2	0,3%
<i>Pheidole</i> sp1	6	0	6	1,0%
<i>Pheidole</i> sp2	2	0	2	0,3%
<i>Pheidole</i> sp3	1	0	1	0,1%
<i>Pheidole</i> sp4	1	1	2	0,3%
<i>Pheidole</i> sp5	0	2	2	0,3%
<i>Pheidole</i> sp6	0	1	1	0,1%
<i>Pheidole</i> sp7	0	2	2	0,3%
<i>Pheidole</i> sp8	0	2	2	0,3%
<i>Pheidole subarmata</i> Mayr, 1884	43	1	44	7,5%
<i>Solenopsis geminata</i> (Fabricius, 1804)	19	11	30	5,1%
<i>Solenopsis globularia</i> (Smith, 1858)	3	0	3	0,5%
<i>Solenopsis invicta</i> Buren, 1972	10	0	10	1,7%
<i>Solenopsis</i> sp1	0	1	1	0,1%
<i>Solenopsis</i> sp2	0	1	1	0,1%
<i>Tetramorium lanuginosum</i> Mayr, 1870	2	0	2	0,3%

<i>Tetramorium simillimum</i> (Smith, 1851)	5	4	9	1,5%
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	9	6	15	2,5%
Estações s/formigas	100	34	134	23%
Total de estações	480	100	580	100%