

DORA CARMELA RAMIREZ GATTY

**ECOLOGIA URBANA DE UMA ABELHA NATIVA: RESPOSTAS
COMPORTAMENTAIS DE COLÔNIAS DE URUÇU-AMARELA (*Melipona
flavolineata*, Apidae, Meliponini) ÀS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS EM UM
GRADIENTE DE URBANIZAÇÃO**

Belém,
2020

DORA CARMELA RAMIREZ GATTY

**ECOLOGIA URBANA DE UMA ABELHA NATIVA: RESPOSTAS
COMPORTAMENTAIS DE COLÔNIAS DE URUÇU-AMARELA (*Melipona
flavolineata*, Apidae, Meliponini) ÀS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS EM UM
GRADIENTE DE URBANIZAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Zoologia do convênio da Universidade Federal do Pará e
Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Área de concentração: Biodiversidade e conservação

Linha de Pesquisa: Ecologia animal

Orientador: Prof. Dr. Felipe Andrés León Contrera
Co-orientadora: Dra. Jamille Costa Veiga

Belém,
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

G262e Gatty, Dora Carmela Ramirez.
Ecologia urbana de uma abelha nativa : respostas
comportamentais de colônias de urucu-amarela (*Melipona
flavolineata*, Apidae, Meliponini) às variações climáticas em um
gradiente de urbanização / Dora Carmela Ramirez Gatty. — 2020.
52 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Felipe Andrés León Contrera
Coorientação: Prof^a. Dra. Jamille Costa Veiga
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em
Zoologia, Belém, 2020.

1. Abelhas. 2. Ecologia urbana. 3. Fatores climáticos. I.
Título.

CDD 595.7990981

FOLHA DE APROVAÇÃO

DORA CARMELA RAMIREZ GATTY

ECOLOGIA URBANA DE UMA ABELHA NATIVA: RESPOSTAS COMPORTAMENTAIS DE COLÔNIAS DE URUÇU-AMARELA (*Melipona flavolineata*, Apidae, Meliponini) ÀS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS EM UM GRADIENTE DE URBANIZAÇÃO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia, sendo a COMISSÃO JULGADORA composta pelos seguintes membros:

Prof. Dra. Tereza Cristina Giannini
Universidade Federal do Pará

Dra. Marcia Motta Maués
Embrapa Amazônia Oriental

Dra. Juliana Teixeira Galaschi
Instituto Tecnológico Vale

Dra. Patrícia Maia Correia de Albuquerque
Universidade Federal do Maranhão

Dra. Kamila Leão Leão
Universidade Federal do Maranhão

Aprovada em: de de 2020.
Local de defesa:

Dedicatória

De uma forma muito especial,
para um dos homens mais importantes da minha vida,
meu tio Enrique Gatty (in memoriam).

E a minha família:

Meus pais Freddy Ramírez e Miryam Gatty
Minha avó Zoila Sandoval e meu irmão Freddy Gastón Ramírez

EPÍGRAFE
Há um livro sempre aberto a todos os olhos:
A natureza.
Jean Jacques Rousseau.

AGRADECIMENTOS

Eu não poderia deixar de expressar o quanto sou grata. Nesta caminhada tão difícil, mas mesmo assim tão satisfatória, tive instituições e pessoas que sem elas, não tivesse conseguido dar nem o primeiro passo. Assim, nesta parte do meu trabalho, quero ressaltar a ajuda recebida durante este tempo, esperando não esquecer nem o menor detalhe, sendo que em conjunto foram o maior estímulo neste processo.

Quero iniciar agradecendo a minha família, meus pais, Freddy Ramírez e Miryam Gatty, a minha avó, Zoila Sandoval e a meu irmão, Gastón Ramírez. Eles foram o principal motor e o maior estímulo para ter tomado a decisão de continuar por este caminho; por ser meu apoio, meu suporte e os meus melhores amigos. Para eles e por eles todas as minhas conquistas. *Obrigada! Amo vocês.*

O resto da minha família que sempre estiveram pendentes e em constante apoio moral quando a distância foi a minha pior inimiga, Sr. Lolo Pérez, e Sra. Blanca Torres, Paty e José, Cecy, Irma, Alcy, Milagros, Jesús, Oriana, Lolo, Luana. Sr. Enrique Gatty (in memoriam) e Sra. Patricia Arévalo, Mayro, Amelia, Jeanpool, Alfonso. Sra. Ana Ramirez, Melissa. *Obrigada!*

Agradecer infinitamente a Edwin Rueda, talvez não conseguiria colocar aqui tudo quanto tenho que lhe agradecer, foi meu suporte nos momentos mais difíceis, meu colega de pesquisa, meu cúmplice de loucuras, meu parceiro, meu amor e o melhor dos amigos. *Obrigada pela tua paciência e pela ajuda no meu trabalho, não sei que tivesse sido do meu mestrado e da minha vida sem ti.*

Quero agradecer de jeito muito especial aos meus orientadores Dr. Felipe Contrera e a Dra. Jamille Veiga, pela confiança e pelo apoio. Não foi fácil esta caminhada, NÃO, mas sem eles tivesse sido impossível. *Felipe, obrigada porque mesmo com todas as dificuldades você não me abandonou. Jamille, você foi meu anjo, me salvou de todas as formas que possa imaginar neste mestrado (desculpa qualquer coisa!).*

Com o transcorrer do tempo e as experiências longe do nosso lar, vamos encontrando pessoas que viram família, e sou tão feliz por ter família internacional. Brasil e Colômbia agora também são parte de mim. Quero agradecer a minha mãe brasileira Patrícia e a sua linda família: Sr. Henrique e a Malú, por ter me acolhido como sua filha peruana. Minha família colombiana, Edwin Rueda, David e Felipe Vega. *Obrigada por tornar esta caminhada menos tempestuosa.*

Aos meus amigos e família abelhuda, Barbara Lopes, Hayron Cordeiro, Rafael Gomez, Alex Souza, Lucas Bernardes, Yasmin Gomes, pelas suas contribuições, companhia, solidariedade, companheirismo, por me fazer rir quando o estresse se apoderava do meu corpo; por esse karaokê

que não vou esquecer nunca na minha vida, e por essa colaboração tanto dentro quanto fora do LaBee. Ao Dr. Alistair Campbell e Dra. Kamila Leão, agradecer pelas suas contribuições e ajuda quando precisei, nunca se negaram. A Janete Gomes e ao Anderson Shwank, agradecer por cuidar das minhas filhas quando eu ficava ausente. *Obrigada galera, vocês ficarão sempre no meu coração!*

Quero ressaltar o meu agradecimento ao Hayron Cordeiro que teve uma grande atuação no desenvolvimento deste trabalho, além de ser meu colega foi um bom amigo e um excelente irmão, agradeço pelos seus conselhos e por ter me ensinado a dar a melhor cara para as adversidades. Por me dar carona as vezes, por me convidar forçadamente as balas do seu Uber. *Mesmo chegando tarde aos experimentos agradeço muito a tua colaboração (piadinha). Valeu meu irmão!*

Aos meus amigos e colegas de mestrado Elísia Menezes pelas mensagens de WhatsApp torcendo uma pela outra e nós dando apoio moral e emocional virtual. Viviane Caetano, Pamela Sánchez e Lenize Calvão, pela ajuda com algumas análises, e especialmente a Pamela por me oferecer seu ombro para chorar quando precisei. Carolina Enríquez, por ser a melhor irmã mais velha, e por esses jantares que não se concretizaram, mas que tinham por trás a intenção de acalmar as penas e o estresse do dia a dia. Aos amigos que o mundo me deu Leslye Torres (Honduras); Adan Galué (Venezuela), Cristian Mendoza, Laura Santacruz, Carolina Rodriguez, Leydi Villa e Luis Mosquera (Colômbia), Bruna Façanha, Rony Almeida, Geovania Figueiredo, Camila Fracalossi e Larissa Diaz (Brasil). Dentro desse grupo agradecer também a Sara Lodi, Dani Ribeiro (meu anjo) e Leandro Brasil pela amizade e pela ajuda quando precisei. *Muito obrigada pelo companheirismo e amizade!*

As instituições, OEA (Organización de los Estados Americanos) pela oportunidade de fazer a pós-graduação em um país diferente ao meu e pelas facilidades para tornar isso possível, à UFPA (Universidade Federal do Pará) e ao PPGZOO (Programa de pós-graduação em Zoologia), por me acolher como outra estudante e me permitir desenvolver o meu mestrado; a CAPES pela bolsa de estudo, CNPQ e Associação A.B.E.L.H.A (Projeto 400585/2018-9) pelo financiamento da pesquisa, e a EMBRAPA Amazônia Oriental, por permitir fazer parte dos experimentos nas suas instalações.

Finalmente às abelhas, sem elas NADA seria possível. *Obrigada minhas filhas!*

Depois de toda essa longa lista, só posso dizer que sou muito abençoada. Mais uma vez MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMO	13
ABSTRACT	14
INTRODUÇÃO	16
MATERIAL E MÉTODOS	21
1. Área de estudo	21
2. Espécie modelo	22
3. Amostragem	23
3.1. Fatores ambientais: parâmetros climáticos	24
3.2. Aspectos comportamentais.....	24
A. <i>Atividade Externa: forrageio de pólen e néctar</i>	24
B. <i>Atividade Interna: taxa de postura</i>	25
4. Análise de dados.....	26
RESULTADOS	29
Atividade externa: Forrageio de pólen e néctar como resposta aos parâmetros climatológicos.....	31
Atividade interna: Taxa de postura como resposta aos parâmetros climatológicos.....	34
Relação entre forrageio de néctar forrageiras de pólen.	35
Relação entre taxa de forrageio e taxa de postura	36
DISCUSSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Lista das variáveis climáticas e variáveis comportamentais do estudo com breve descrição.	27
Tabela 2. Médias e desvio padrão dos dados de forrageio de néctar e pólen e a taxa de postura de <i>Melipona flavolineata</i> , por colônia e por área estudada.....	29
Tabela 3. Valores mínimos, máximos e médias das variáveis climatológicas no municio de Belém no ano de 2019.	31
Tabela 4. Modelos selecionados da relação entre o forrageio de pólen, forrageio de néctar, taxa de postura de <i>Melipona flavolineata</i> , com os parâmetros climatológicos, segundo o critério ΔAIC	31
Tabela 5. Modelo linear misto, representando a relação entre o forrageio de pólen de <i>Melipona flavolineata</i> e parâmetros climatológicos de um gradiente de urbanização.	32
Tabela 6. Modelo linear misto, representando a relação entre o forrageio de néctar de <i>Melipona flavolineata</i> e parâmetros climatológicos de um gradiente de urbanização.	33
Tabela 7. Modelo linear misto, representando a relação entre taxa postura de néctar de <i>Melipona flavolineata</i> e parâmetros climatológicos da área urbana de Belém.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Pontos de coleta segundo as categorias do ambiente de acordo com os graus de urbanização e porcentagens de vegetação: A) área urbana; B) área semi-urbana; C) área agroflorestal 22
- Figura 2. Castas de *Melipona flavolineata* A) Operária forrageira de *Melipona flavolineata* sobre recurso floral; B) Rainha de *Melipona flavolineata* sobre disco de cria; e C) Macho de *Melipona flavolineata*. Fonte: A) Fototeca Cristiano Menezes, B e C) Veiga (2014)..... 23
- Figura 3. Instrumentos de coleta de parâmetros climatológicos. (A) Termohigrômetro digital (BRUNTON, Atmospheric data center, ADCTM). (B) Luxímetro - Medidor de Intensidade de Lux Digital Mod. LDR-208 - INSTRUTHERM® 24
- Figura 4. (A) Coleta de dados de atividade externa (número de abelhas voltando à colônia) de *Melipona flavolineata*, (B) Forrageiras de *Melipona flavolineata* pousadas na entrada da colônia. fonte: (A) Hayron Cordeiro, (B) site web <http://www.socialinsect-research.com/Stingless-bees.php>. 25
- Figura 5 . Mapeamento para a comparação diária de células de cria de *Melipona flavolineata* em um gradiente de urbanização. (A) Fotografia do dia “zero”. (B) Fotografia do primeiro dia (24 horas após a primeira observação). (C) Fotografia do segundo dia. (D) Fotografia do terceiro dia de experimento. As marcas de cores (Amarelo, rosa, verde, azul) nas imagens indicam a construção diária de células novas. Fotos: Dora Ramirez 26
- Figura 6. Modelo estatística hierárquica: relação entre as variáveis comportamentais (performance de colônias de *Melipona flavolineata*) e as variáveis climáticas consideradas como efeitos fixos. E a área e as colônias como efeitos aleatórios (variáveis que não podemos controlar). 28
- Figura 7. Desenvolvimento das colônias de *Melipona flavolineata* ao longo do período de coleta. (A) Taxa de postura de *M. flavolineata* ao longo das semanas de estudo. (B) Taxa de forrageio de *M. flavolineata* ao longo da semana de estudo. As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. 29
- Figura 8. Variação dos parâmetros climatológicos durante o período de estudo. (A) dados da variação da temperatura e umidade relativa do ar ao longo das semanas, (B) níveis de pluviosidade ao longo das semanas, (C) dados da variação da luminosidade ao longo das semanas e (D) dados da variação da pressão barométrica ao longo das semanas. Dados de pluviosidade mensal (mm) foram obtidos do site www.inmet.gov.br. 30

Figura 9. Diagrama de dispersão da relação entre parâmetros climatológicos (umidade relativa do ar (%) e pressão barométrica) e o forrageio de pólen de <i>Melipona flavolineata</i> . As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano.	32
Figura 10. Diagrama de dispersão da relação entre parâmetros climatológicos (umidade relativa do ar e temperatura) e o forrageio de pólen de <i>Melipona flavolineata</i> . As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano	34
Figura 11. Relação entre parâmetros climatológicos (umidade relativa do ar) e a taxa de postura de <i>Melipona flavolineata</i> . As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano.....	35
Figura 12. Correlação linear simples que mostra a relação entre o forrageio de pólen e o forrageio de néctar de <i>Melipona flavolineata</i> . As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. As áreas sombreadas definem os intervalos de confiança a 95% e as linhas a tendência dos dados	36
Figura 13. Correlação linear simples que mostra a relação entre a taxa de forrageio e a taxa de postura de <i>Melipona flavolineata</i> . As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. As áreas sombreadas definem os intervalos de confiança a 95% e as linhas a tendência dos dados.....	36
Figura 1. (Anexo) Diagrama de dispersão dos valores dos parâmetros climatológicos apresentados nas áreas de coleta. As cores nos pontos representam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. As caixas indicam a distribuição de 50% dos valores (entre os percentis 25% a 75%). (A) umidade relativa do ar, (B) temperatura, (C) luminosidade e (D) pressão barométrica	51
Figura 2. (Anexo) Diagrama de dispersão dos valores dos parâmetros climatológicos apresentados por faixa horaria. As cores nos pontos representam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. As caixas indicam a distribuição de 50% dos valores (entre os percentis 25% a 75%). (A) umidade relativa do ar, (B) temperatura, (C) luminosidade e (D) pressão barométrica	52

RESUMO

A urbanização pode gerar mudanças na estrutura do ambiente afetando também processos físico-químicos. Essas mudanças ao longo do tempo têm provocado a perda de habitats e com elas a redução de populações de abelhas sem ferrão, que são um grupo de insetos importantes para a manutenção dos ecossistemas. As populações de abelhas sem ferrão, a diferença do gênero *Apis*, correm o risco de reduzir a sua população por serem pouco flexíveis às mudanças e sua possibilidade de adaptação a áreas urbanizadas é muito baixa. Por isso o nosso estudo teve por objetivo conhecer a ecologia urbana da espécie de abelha sem ferrão *Melipona flavolineata*, medindo a suas respostas no comportamento de forrageio e de postura aos parâmetros climatológicos em ambientes com diferentes graus de urbanização (agroflorestal- semi-urbano e urbano). Observamos 12 colônias de *M. flavolineata* durante cinco meses. As observações foram semanais intercalando atividade interna e atividade externa. A taxa de forrageio (média semanal), foi avaliada de 07h00 as 11h00 (horário de maior forrageio) e se contabilizavam as abelhas voltando à colônia, paralelo a esse processo se registraram dados de temperatura, umidade relativa, luminosidade e pressão barométrica. A taxa de postura (média semanal), foi avaliada durante quatro dias consecutivos na semana correspondente. Os resultados mostraram que os parâmetros climatológicos tiveram uma alta variação nos três pontos de coleta, afetando a performance das abelhas. A pressão barométrica e a umidade relativa do ar tiveram um efeito positivo e significativo sobre a coleta de pólen. Umidade relativa e a temperatura tiveram um efeito positivo e significativo com o forrageio de néctar; a pressão barométrica teve um efeito negativo, não significativo. A taxa de postura foi maior à medida que a umidade relativa do ar se acrescentava, mostrando uma relação positiva; a pressão barométrica teve um efeito positivo, mas não significativo. As relações entre a taxa de forrageio e a taxa de postura; assim como a relação entre a taxa de forrageio de pólen e a taxa de forrageio de néctar, foram positivas e significativas e não se diferenciaram entre os ambientes, apenas pela amplitude dos dados. Assim concluímos que a abelha sem ferrão *M. flavolineata* é uma espécie pouco tolerante a áreas completamente urbanizadas, e a sua capacidade de adaptar a ambientes com condições ambientais desfavoráveis é muito limitada, pois suas atividades estão restringidas pelas altas variações climáticas e provavelmente pela escassez de recursos alimentares. Nesse sentido seria bom implementar estudos da ecologia urbana de espécies menores, e adicionar nos estudos de respostas aos fatores climáticos o parâmetro da pressão barométrica que, ao parecer, segundo nossos resultados afetam o comportamento das abelhas sem ferrão

Palavras-chave: ecologia urbana, taxa de postura, taxa de forrageio, parâmetros climatológicos, abelha sem ferrão

ABSTRACT

Urbanization can generate changes in the structure of the environment, also affecting physical-chemical processes. These changes over time have caused the loss of habitats and with them the reduction of populations of stingless bees, which are a group of insects important for the maintenance of ecosystems. Stingless bee populations, unlike the *Apis* genus, are at risk of reducing their population because they are not very flexible to changes and their possibility of adapting to urbanized areas is very low. For this reason, our study aimed to know the urban ecology of the stingless bee species *Melipona flavolineata*, measuring their responses in foraging behavior and posture to climatological parameters in environments with different degrees of urbanization (agroforestry-semi-urban and urban). We observed 12 colonies of *M. flavolineata* for five months. The observations were weekly, alternating internal and external activity. The rate of foraging (weekly average) was evaluated from 7:00 am to 11:00 am (time of greatest foraging) and bees were counted back to the colony, parallel to this process, data of temperature, relative humidity, luminosity and barometric pressure were recorded. The laying rate (weekly average) was assessed for four consecutive days in the corresponding week. The results showed that the climatological parameters had a high variation in the three collection points, affecting the performance of the bees. Barometric pressure and relative humidity had a positive and significant effect on pollen collection. Relative humidity and temperature had a positive and significant effect with the nectar foraging; barometric pressure had a negative, non-significant effect. The laying rate was higher as the relative humidity was added, showing a positive relationship; barometric pressure had a positive, but not significant, effect. The relationships between the foraging rate and the laying rate; as well as the relationship between the pollen foraging rate and the nectar foraging rate, were positive and significant and did not differ between environments, just by the amplitude of the data. Thus, we conclude that the stingless bee *M. flavolineata* is a species that is not tolerant of completely urbanized areas, and its capacity to adapt to environments with unfavorable environmental conditions is very limited, as its activities are restricted by high climatic variations and probably by the scarcity of food resources. In this sense, it would be good to implement studies of the urban ecology of smaller species, and to add in the studies of responses to climatic factors the barometric pressure parameter which, according to our results, affects the behavior of stingless bees

Keywords: *urban ecology, laying rate, foraging rate, climatological parameters, stingless bee*



**ECOLOGIA URBANA DE UMA ABELHA NATIVA: RESPOSTAS
COMPORTAMENTAIS DE COLÔNIAS DE URUÇU-AMARELA
(*Melipona flavolineata*, Apidae, Meliponini) ÀS VARIAÇÕES
CLIMÁTICAS EM UM GRADIENTE DE URBANIZAÇÃO**

INTRODUÇÃO

Quem são as abelhas?

As abelhas são insetos pertencentes à ordem Hymenoptera, que dependem de recursos florais como pólen, néctar e óleo para alimentação (Camargo & Roubik, 1991). Atualmente estima-se que existem aproximadamente 30.000 espécies encontradas no mundo (Roubik 1989, Michener 2000), e no Brasil, aproximadamente 3.000 espécies descritas (Silveira et al., 2002), cada uma com diferentes hábitos de nidificação e preferências florais (Roubik 1989, Michener 2000).

Em sua maioria, as abelhas apresentam hábitos de vida solitário, onde a fêmea é a única responsável pela procura de recursos alimentares para a sobrevivência individual e da prole. Por outro lado, ao longo da evolução do grupo, surgiram linhagens com organização altamente social (organismos eussociais) (Edward O. Wilson & Hölldobler, 2005), cujos aspectos característicos são i) o cuidado cooperativo dos indivíduos jovens; ii) a divisão de trabalho em um sistema de castas; e iii) a sobreposição de gerações (Wilson 1971).

Dentre as linhagens consideradas como organismos altamente sociais podemos citar às abelhas melíferas do gênero *Apis*, Linnaeus, 1758 (Apidae, Apini), uma espécie originária de Europa, África e parte de Ásia, introduzida nas Américas e Oceania (Michener, 2013). O outro grupo são os meliponíneos ou abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponini), que estão distribuídas por toda a Zona Tropical e Subtropical do mundo, com exceção das Ilhas do Pacífico (Michener, 2013), sendo que aproximadamente 50% das 500 espécies descritas ocorrem no Brasil (Pedro, 2014).

Organização social e divisão de trabalho

Nos meliponíneos, as fêmeas, estão divididas em um sistema de castas que consta de uma rainha fisogástrica (após fecundada em voo nupcial) e as operárias (majoritariamente estéreis). Cada casta tem uma função definida dentro da colônia (Roubik, 1992). Nas colônias encontram-se também os machos, conhecidos como zangões (proveniente de ovos não fecundados); eles têm unicamente a função de reprodução junto com a rainha, quem é a responsável pela produção de novos indivíduos (Wilson, 1971).

As rainhas são geralmente as únicas com a capacidade de reprodução. Nascerem com os ovários bem formados, mas inativos (denominadas rainhas virgens) (Michener, 1974) até alcançar a aptidão reprodutiva para posterior acasalamento. No geral, as rainhas são fecundadas uma única vez por um único macho. No processo, ele perde a cápsula genital expulsando-a dentro da câmara vaginal da rainha (Kerr et al., 2013; Silva et al., 1972). Após o processo de acasalamento, a rainha começa o

desenvolvimento do abdômen para posterior postura dos ovos nas células de cria. A postura de uma rainha do gênero *Melipona* pode ser de aproximadamente 25 ovos por dia quando a colônia for forte, de 10 a 20 quando medianamente forte, e menos de 8 quando fraca, segundo os dados de Kleinert (2005). A ausência de postura, pode significar conseqüentemente ausência de rainha fisogástrica.

Por outro lado, as operárias têm diferentes funções ao longo da sua vida que são definidas de acordo com a sua idade; essa divisão de trabalho, a qual é conhecida como polietismo etário, que é a característica organizadora central da atividade da colônia (Robinson et al., 1994). Assim, essas atividades são divididas em duas importantes etapas: i) no interior da colônia, onde elas desenvolvem funções de nutrizas, de limpeza, de construção, de armazenamento, de ventilação e finalmente de guardas; ii) no exterior, onde as operárias fazem unicamente o trabalho de forrageio (Sommeijer et al., 1982).

No forrageio, as abelhas se caracterizam por apresentar forrageio de ponto-central (Elliott, 1988); ou seja, que as operárias retornam ao ninho após cada saída de forrageio, para descarregar e processar os recursos coletados. As forrageiras são as responsáveis de coletar diferentes recursos como: i) água, barro e resina, como recursos para construção dentro da colônia; e ii) o pólen, que proporciona proteínas para o desenvolvimento das larvas e da rainha, com importância no sucesso da produção de ovos; e o néctar, que contém os hidratos de carbono como fonte de energia para os adultos (Michener, 1974; Sakagami, 1982, Roubik, 1992).

A diminuição da postura da rainha, juntamente com a elevada mortalidade dos imaturos reduz o número de indivíduos nascidos, e com o tempo, reduz consideravelmente a população total da colônia. Isto pode comprometer a geração de descendentes, e a manutenção da sua força de trabalho. Nessas condições, um número reduzido de operárias não é capaz de executar todas as funções básicas necessárias para a sobrevivência da colônia, levando-a à morte (Becker et al., 2018).

Abelhas e ambiente

Aproximadamente 90% das espécies de plantas com flores dependem de animais para realizar a transferência de grãos de pólen para assim completar a fecundação e posterior formação de frutos (Ollerton et al., 2011). A relação inseto-planta representa a base dos ecossistemas, pois são fundamentais para a evolução e manutenção da biodiversidade (Ehrlich & Raven, 1964, Thompson, 2006). Nesse sentido, as abelhas são consideradas agentes polinizadores por excelência; sendo responsáveis por cerca de 89% da polinização em culturas (Giannini et al., 2015), além de apresentar grande importância no equilíbrio dos ecossistemas (Collevatti et al., 2000), particularmente em ecossistemas tropicais (Roubik & Buchmann, 1984); tornando-se imprescindíveis para a manutenção

da biodiversidade tanto em áreas naturais como na produção de alimentos (Imperatriz-Fonseca et al. 2012).

Nas abelhas sociais, as respostas comportamentais às variações do ambiente variam em função das estratégias de cada espécie (Ramalho et al., 1989), e podem ser afetados por fatores intrínsecos e extrínsecos. Assim, a disponibilidade de recursos no ambiente, urbanização e fragmentação de habitats, competição com outros indivíduos, ou os fatores climáticos (*e. g.* temperatura, umidade relativa e luminosidade) poderiam ser considerados fatores extrínsecos (Imperatriz-fonseca et al., 1985; Kleinert-Giovannini & Imperatriz-Fonseca, 1986, Hilário et al., 2001; Maia-Silva et al., 2015); e o tamanho da população (Hilário et al., 2000) ou os recursos estocados dentro da colônia (Maia-Silva et al. 2015), considerados finalmente como fatores intrínsecos.

Estudos recentes mostram que os fatores climatológicos são determinantes na performance das colônias de meliponíneos (Maia-Silva et al., 2015; Oliveira et al., 2012). Um estudo realizado com *Melipona interrupta* em condições de laboratório sob um gradiente térmico, mostrou que valores de temperatura acima ou abaixo de 30 °C (temperatura ótima) reduzem a eficiência na termorregulação da colônia e diminuem a oviposição realizada pela rainha; todavia, o aumento da temperatura foi mais prejudicial, uma vez que quanto mais altas as temperaturas a que estiveram expostas as colônias, maior o esforço termorregulatório das abelhas, maior número de imaturos mortos e maiores as deformações observadas na construção dos discos (Becker et al., 2018). As atividades de forrageio também são afetadas, devido à variação da temperatura do ambiente (Nates-Parra & Rodríguez, 2011; Willmer & Corbet, 1981). Valores altos de temperatura podem reduzir a atividade fora das colônias, induzindo assim, o comportamento de ventilação dentro delas (Michener 1974). Um estudo realizado com *M. subnitida* em um ambiente do semiárido brasileiro, mostrou que no caso de temperaturas muito baixas, o início e pico de atividades de forrageio poderiam ser retardados (Maia-Silva et al., 2015).

Um estudo realizado com a espécie *Scaptotrigona depilis* em ambiente urbano no sudeste do Brasil, mostrou a relação do comportamento dessa espécie com fatores climáticos (temperatura, umidade relativa, precipitação e luminosidade) e temporais (mês e hora do dia) (Figueiredo et al., 2013). Os seus resultados mostraram que a atividade de voo das abelhas são mais intensas em épocas em que a duração do dia é maior (época seca), resultando em mais horas de luz ao longo de um período de 24 horas, ao contrário de épocas de frio (com menos horas de luz), quando as atividades são reduzidas. Mostraram também que o pico de atividades foi regulada pela temperatura, umidade e luminosidade diária (Figueiredo et al., 2013). Outro estudo realizado com a espécie modelo *A. mellifera*, realizado na Austrália mostrou resultados similares: as forrageiras foram muito sensíveis

às mudanças climáticas, de forma que a limitação na luminosidade impediu as atividades de forrageio, definindo esse tempo como períodos improdutivos (Riessberger-Gallé & Crailsheim, 1997).

Outros estudos tem demonstrado que urbanização é considerada a principal causa de perturbação das áreas naturais (Wink et al., 2005; Ferreira et al., 2015), pois o deslocamento das populações humanas e o crescimento de ambientes urbanizados acabam ocupando majoritariamente pontos de alta biodiversidade (Kowarik, 2011), gerando alterações nos processos biogeoquímicos, perda de habitats e variações na diversidade biológica (população e distribuição) (Nates-Parra et al., 2006). Consequentemente essas alterações resultam sendo desfavoráveis para as populações de abelhas, uma vez que quanto mais perturbado encontra-se o ambiente, os recursos serão mais limitados, e as populações mais isoladas (produto da fragmentação). Nesse cenário a saúde das colônias poderia ser afetada, reduzindo o a quantidade de recursos estocados, afetando no sucesso na produção de novos indivíduos, e finalmente produzindo a perda da colônia. (Rathcke & Jules, 1993). Porém esses ambientes ainda podem oferecer recursos para sobrevivência de muitos insetos (Aleixo et al., 2013)

Atualmente se tem desenvolvido pesquisas em torno as abelhas e ambientes urbanizados. Estudos como os de Couvillon et al. (2014) e Garbuzov et al. (2014) que mostram adaptações desse grupo de abelhas em áreas urbanizadas da Europa, com condições estruturais e sazonalidade diferentes ao trópico amazônico. Nesses estudos, operárias de *A. mellifera* buscam alimento de acordo com a disponibilidade de recursos no ambiente e a sazonalidade; as buscas eram limitadas ao entorno próximo ao ninho quando as condições sazonais não eram favoráveis (outono) (Couvillon et al., 2014). Já quanto às áreas urbanas, as operárias tomam decisões econômicas, forrageando a distâncias maiores somente quando recursos de boa qualidade estavam disponíveis. Na maior parte do tempo elas forrageavam na área urbana, procurando recursos em uma área muito menor (1-2 km), sendo que o raio de ação conhecido de *A. mellifera*, que é de 10 a 12 km (Garbuzov et al., 2014).

Em algumas áreas das cidades, podemos encontrar áreas verdes entre parques públicos, áreas estritamente ligadas às áreas residenciais circundantes, dentre outros exemplos, que têm fins sociais e ambientais (Gamboa, 2003) e alguns jardins domésticos em áreas privadas, e que têm autonomia para sua administração (Cameron et al., 2012). Estes últimos contribuem substancialmente para as áreas verdes das cidades, pois proporcionam benefícios ambientais, já que devido à diversidade de plantas que abrigam, podem se tornar abrigos importantes para a diversidade de alguns insetos, como as abelhas (Sierra & Amarillo, 2017).

Embora muitos estudos sobre abelhas sem ferrão levantem dados sobre os recursos coletados pelas abelhas (Hilário et al., 2000; Teixeira & Melo, 2005; Carvalho et al., 2007; Lima et al., 2013) ,

sobre sua área de exploração na paisagem (Brosi et al., 2008; Saturni et al., 2016; Campbell et al., 2018), e quanto tempo sobrevive uma espécie (Pinheiro et al., 2009; Gomes, 2013; Lopes, 2018), poucos são os estudos que buscam compreender como as colônias e os indivíduos respondem às alterações nos ambientes onde ocorrem. Neste trabalho propomos investigar, como as colônias de uma espécie de abelha nativa respondem às condições climáticas dentro de um ambiente urbanizado. Para tanto, pretendemos responder às seguintes perguntas: **(1) Como os fatores ambientais influenciam na performance da abelha sem ferrão *M. flavolineata* sob diferentes graus de urbanização?** O sucesso no desenvolvimento das abelhas sem ferrão depende do clima e da quantidade de recursos disponível no ambiente, com isso em consideração, esperamos que os fatores ambientais presentes em um gradiente de urbanização, não sejam favoráveis para o desenvolvimento das atividades dentro e fora das colônias de *M. flavolineata*, provando que i) as condições climatológicas extremas presentes neste tipo de ambientes impedem o sucesso do forrageamento das abelhas, reduzindo-o ao longo do tempo devido aos riscos de superaquecimento; ii) a taxa de postura é reduzida em função à variação dos parâmetros climatológicos produto da urbanização. **(2) Como a atividade de forrageio de pólen e a atividade de forrageio de néctar estão relacionadas? Essa relação é modificada de acordo com o grau de urbanização?** A atividade de forrageio depende da população existente na colônia, mas também na quantidade de recursos disponibilizados no ambiente; além, forrageio de pólen e de néctar geralmente apresentam horários de coleta diferentes; o pólen é coletado nas primeiras horas da manhã, sendo assim espera-se que essas duas variáveis apresentem uma relação positiva, diferenciada segundo o grau de urbanização, uma vez que as condições climáticas sejam diferentes. **(3) Como a atividade de forrageio e a taxa de postura estão relacionadas? Essa relação é modificada de acordo com o grau de urbanização?** Uma alta quantidade de alimento estocado nas colônias, produto de uma taxa de forrageio alto, sugere um maior estímulo de postura de ovos e maior crescimento da colônia, nesse sentido esperamos que quanto maior seja a taxa de forrageio, maior será a taxa de postura, e a relação será diferenciada segundo o grau de urbanização, uma vez que as condições climáticas sejam diferentes.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Área de estudo

Realizamos o estudo na área metropolitana do município de Belém, localizada na região Norte do Brasil. O clima é de tipo Equatorial (Af), segundo a classificação climática de Köppen, é permanentemente úmido, com ausência de estação fria, com temperatura média é de 25°C a 26° C e uma precipitação média anual de 2.834 mm (Alvares et al., 2013).

Para o estudo usamos três pontos para representar diferentes graus de urbanização, considerando a porcentagem de áreas contendo algum tipo de floresta e áreas urbanizadas (para essa caracterização não se realizaram análises, foi apenas visual). O ambiente “agroflorestal” foi representado pela área da Embrapa Amazônia Oriental (1°26'11.52"S, 48°26'35.50"W), por possuir floresta primária (Parque Estadual do Utinga), florestas secundárias, áreas de cultivos agrícolas, e uma parte de área urbanizada. O ambiente semi-urbano foi representado pela área do Instituto de Ciências Biológicas - Universidade Federal do Pará (1°28'26"S, 48°27'30"W), por apresentar no seu entorno floresta de várzea com cipós, árvores, arbustos e espécies de subosque, apresentando composição florística variada, incluindo florestas primária e secundária, pertencentes a Ilha do Combú (Rodrigues et al. 2006), mas com uma grande área urbanizada no entorno (Universidade e bairro do Guamá) e uma parte considerável ocupada pelo rio Guamá. O ambiente urbano foi representado pela área de uma residência particular localizada no centro da cidade de Belém (1°27'40"S, 48°28'40"W), por apresenta construções civis, rodovias e reduzida vegetação.

A área circular ao redor dos ninhos, com raio de 1.5 km, foi utilizada como critério para classificar a paisagem ao redor dos três pontos onde foram estabelecidas as colônias experimentais. O raio de 1.5 km foi baseado em dados sobre as distâncias de forrageamento das espécies de meliponíneos (Araújo et al., 2004, Campbell et al., 2019). Esse espaço representou a área potencialmente explorada pelas operárias de cada ninho para realizar o forrageamento (Figura 1).



Figura 1. Pontos de coleta segundo as categorias do ambiente de acordo com os graus de urbanização e porcentagens de vegetação: A) área urbana; B) área semi-urbana; C) área agroflorestal.

2. Espécie modelo

A espécie do estudo foi a abelha sem ferrão *M. flavolineata* Friese, 1900, popularmente conhecida como Uruçu-amarela. A sua distribuição está restringida unicamente no Brasil (Silveira et al., 2002), com ocorrência exclusiva pela Amazônia Brasileira, principalmente nos estados do Maranhão, Pará, Tocantins (Camargo & Pedro, 2008; Pedro, 2014). Na natureza, *M. flavolineata* faz os ninhos em buracos dentre de árvores, parecido com outras abelhas do mesmo gênero (Michener 2007), as colônias contém entre 1.164 – 2.583 indivíduos (Leão, 2019), e são compostas por operárias (Figura 2a) de diferentes idades, uma rainha fecundada com oviposição ativa (Figura 2b) e zangões (Figura 2c).

Melipona flavolineata é uma das espécies mais criadas por agricultores no estado do Pará, juntamente com *M. fasciculata*, Smith, 1854 (Uruçu-Cinzenta) (Venturieri 2004), devido às características das colônias desse gênero (*Melipona*), sendo também consideradas um bom modelo para estudos de comportamento.



Figura 2. Castas de *Melipona flavolineata* A) Operária forrageira sobre recurso floral; B) Rainha sobre disco de cria; e C) Macho. Fonte: A) Fototeca Cristiano Menezes, B e C) Veiga (2014).

3. Amostragem

As amostragens foram realizadas entre os meses de maio e outubro de 2019, com a finalidade de captar a variação sazonal da região (Fig. 3). Para o estudo, foram escolhidas 12 colônias em bom estado (entre fortes e intermediárias), que foram transferidas de caixas padrão para a criação comercial (dimensões: 30 cm x 30 cm x 22,5 cm). Posteriormente, um conjunto de quatro colônias foi estabelecido em cada ponto de amostragem, em abrigos coletivos (áreas agroflorestal e semi-urbana) e abrigos individuais (área urbana). A instalação das colônias nos seus respectivos pontos realizou-se com pelo menos um mês de antecedência do início dos experimentos, para elas estarem acostumadas e adaptadas ao novo local. Todas as colônias tiveram livre acesso ao ambiente externo ao longo do período de amostragem.

A coleta de dados foi semanal, intercalando uma semana para dados externos (forrageio de néctar e pólen), e a outra para dados internos (taxa de postura). Com esse intervalo na coleta, as colônias tiveram tempo de se recuperar do impacto e/ou a influência sobre elas. Durante o período de estudo, as colônias não receberam alimentação extra, portanto, sobreviveram com os recursos que puderam coletar na área (mata, fragmentos de floresta secundária, diversas culturas agrícolas, e áreas urbanas).

3.1. Fatores ambientais: parâmetros climáticos

Foram coletados dados de temperatura, umidade relativa e intensidade luminosa e pressão barométrica, com auxílio de um termohigrômetro digital e um fotômetro portátil (Fig. 3). As medidas coletadas foram usadas tanto para avaliar atividade externa, quanto interna.



Figura 3. Instrumentos de coleta de parâmetros climatológicos. (A) Termohigrômetro digital (BRUNTON, Atmospheric data center, ADCTM). (B) Luxímetro - Medidor de Intensidade de Lux Digital Mod. LDR-208 - INSTRUTHERM®

3.2. Aspectos comportamentais

A. *Atividade Externa: forrageio de pólen e néctar*

Para registrar as atividades das forrageiras, contabilizamos o número de abelhas que retornam às colônias com recurso, diferenciando os indivíduos que retornavam com pólen, daqueles que retornavam com néctar e outros recursos (barro, água ou resina). As observações foram realizadas entre as 07h00 às 11h00, período de maior atividade de forrageio (90%), em faixas de 5 minutos/hora/colônia (Nates-Parra & Rodríguez, 2011). O objetivo desse procedimento foi estimar como a coleta de néctar e pólen variaram ao longo do período experimental (Fig. 4).

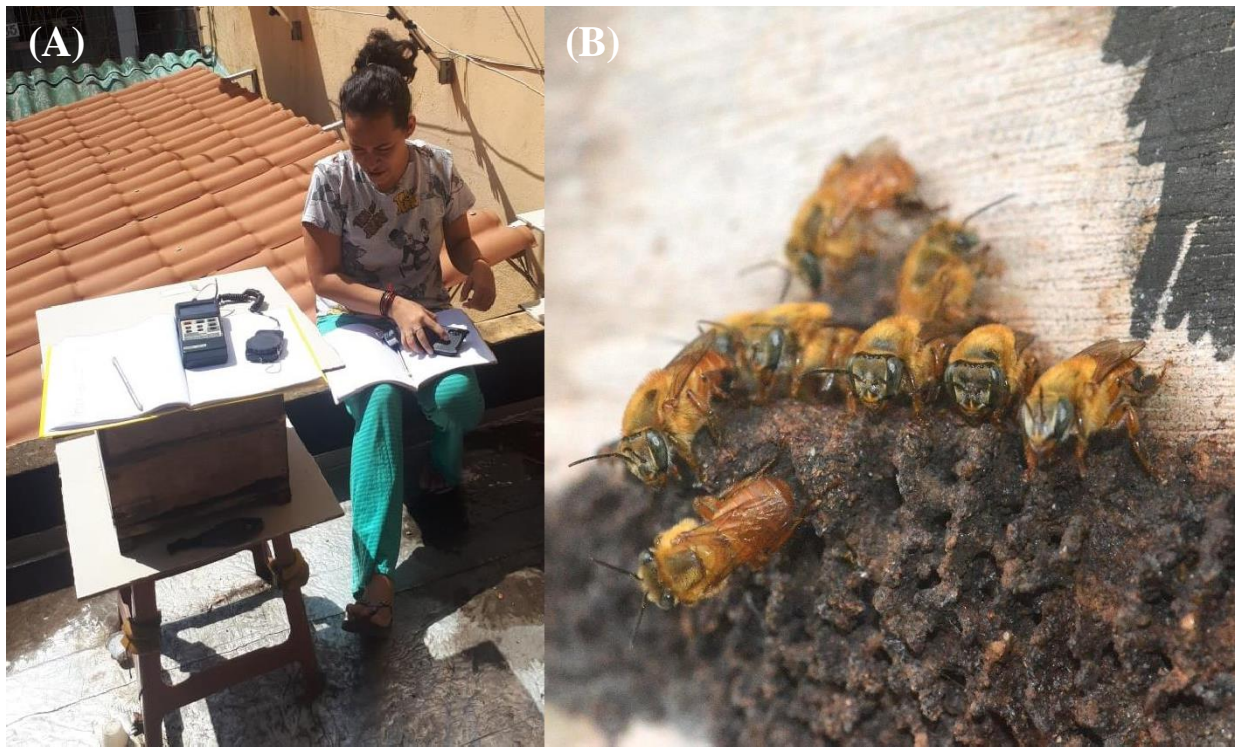


Figura 4. (A) Coleta de dados de atividade externa (número de abelhas voltando à colônia) de *Melipona flavolineata*, (B) Forrageiras pousadas na entrada da colônia. fonte: (A) Hayron Cordeiro, (B) site web <http://www.socialinsect-research.com/Stingless-bees.php>.

B. Atividade Interna: taxa de postura

Para os registros de atividade interna se usaram quatro dias consecutivos na semana correspondente, considerando o primeiro como dia “zero”; sendo que nesse dia marcaram-se todas as células de cria da borda do favo mais novo, com tinta à base d’água. A contagem das células novas começou após 24 horas desse procedimento e foi repetido nos próximos dois dias.

O mapeamento e a coleta de dados de postura foram complementados com registros fotográficos, por cada colônia e dia de amostragem, para facilitar a contagem das células novas. Finalmente para cada colônia foi calculada a média de células construídas em três dias (Fig. 5).

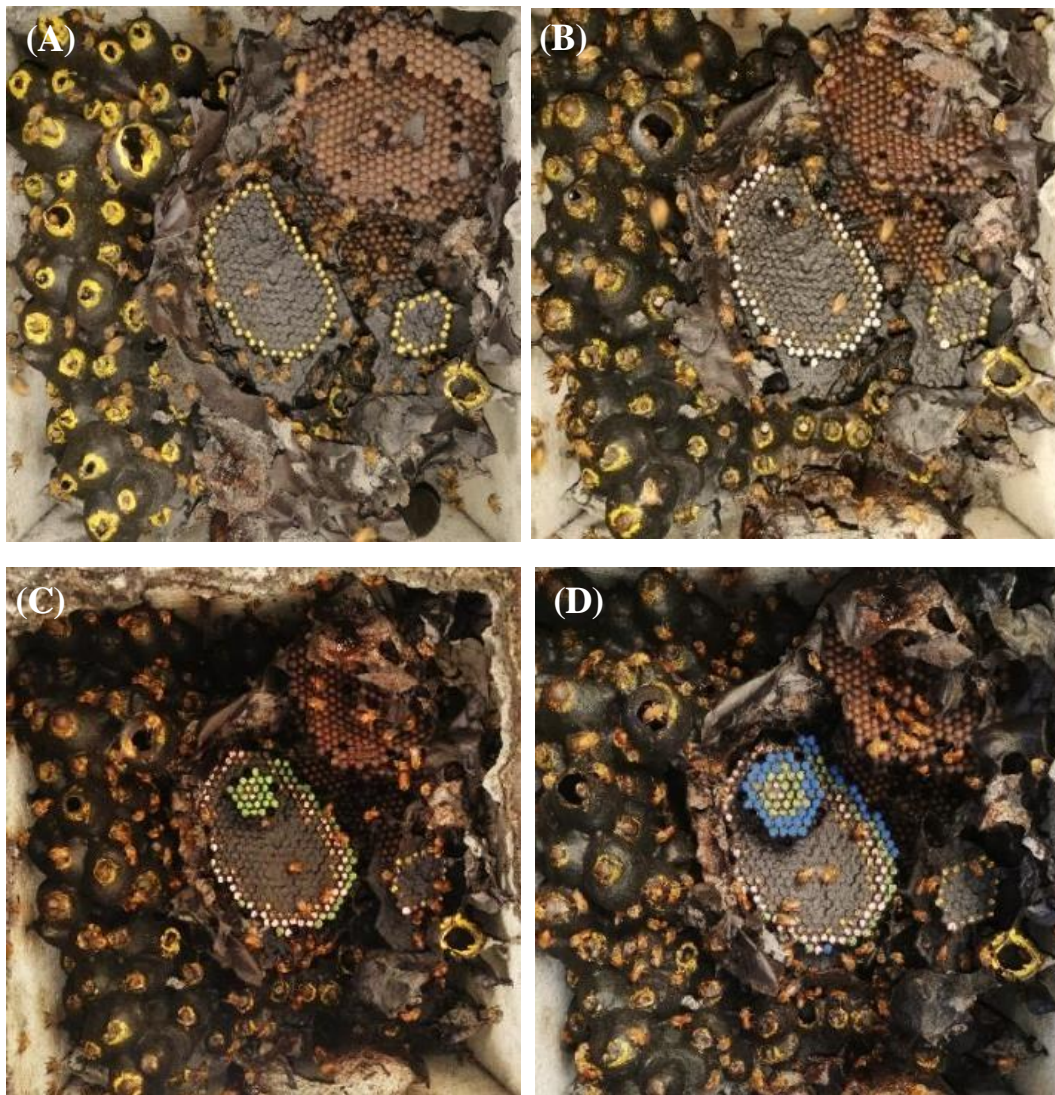


Figura 5 . Mapeamento para a comparação diária de células de cria de *Melipona flavolineata* em um gradiente de urbanização. (A) Fotografia do dia “zero”. (B) Fotografia do primeiro dia (24 horas após a primeira observação). (C) Fotografia do segundo dia. (D) Fotografia do terceiro dia de experimento. As marcas de cores (Amarelo, rosa, verde, azul) nas imagens indicam a construção diária de células novas. Fotos: Dora Ramirez

4. Análise de dados

Para testar a influência da interação entre a variável preditora contínua (fatores climatológicos) sobre as variáveis respostas (atividade de forrageio e taxa de postura) (Tabela 1), usamos modelos lineares de efeitos mistos, a fim de discriminar efeitos fixos e aleatórios nas análises (Fig. 6). Montamos o modelo global com todas as variáveis predictoras, sendo mantidas para a seleção de modelos apenas aqueles modelos contendo variáveis predictoras correlacionadas a menos de 60%; para isso, usamos a função *dredge* no pacote R “MuMIn” (Barton, 2019), adaptada com a função auxiliar *max.r* para calcular a máxima correlação entre variáveis, e assim construir modelos com todas as combinações possíveis, incluindo um modelo nulo (modelo contendo apenas o intercepto).

Tabela 1: Lista das variáveis climáticas e variáveis comportamentais do estudo com breve descrição.

Variáveis	Descrição
Climáticas	
Temperatura	Parâmetro climatológico medido em graus centígrados (°C)
Umidade relativa	Parâmetro climatológico medido em porcentagem (%)
Pressão barométrica	Parâmetro climatológico medido em bar (bar)
Luminosidade	Parâmetro climatológico medido em Lux (lx)
Comportamentais	
Taxa de forrageio de pólen	Média semanal de forrageiras de pólen voltando à colônia
Taxa de forrageio de néctar	Média semanal de forrageiras de néctar voltando à colônia
Taxa de postura	Média de três dias da construção de novas células de cria fechadas, indicando oviposição.
Taxa de forrageio	Média semanal forrageiras com qualquer tipo de recurso (néctar, pólen, barro, água ou resina) voltando à colônia

Os modelos foram comparados utilizando a abordagem de seleção de modelos pelo critério de delta - AIC. Finalmente, o modelo com menor valor e ΔAIC foi considerado o modelo de melhor ajuste. Foram usados os pacotes nlme e lme4 para análises dos modelos lineares de efeitos mistos e o pacote ggplot2 (Wickham, 2016) para os gráficos.

Para avaliar a relação entre o forrageio de néctar e pólen e a relação entre taxa e forrageio e taxa de postura, utilizamos uma correlação simples não paramétrica (correlação de Spearman). Para isso usamos a função cor.test. Todas as análises foram feitas utilizando o software R (R Core Team, 2018)

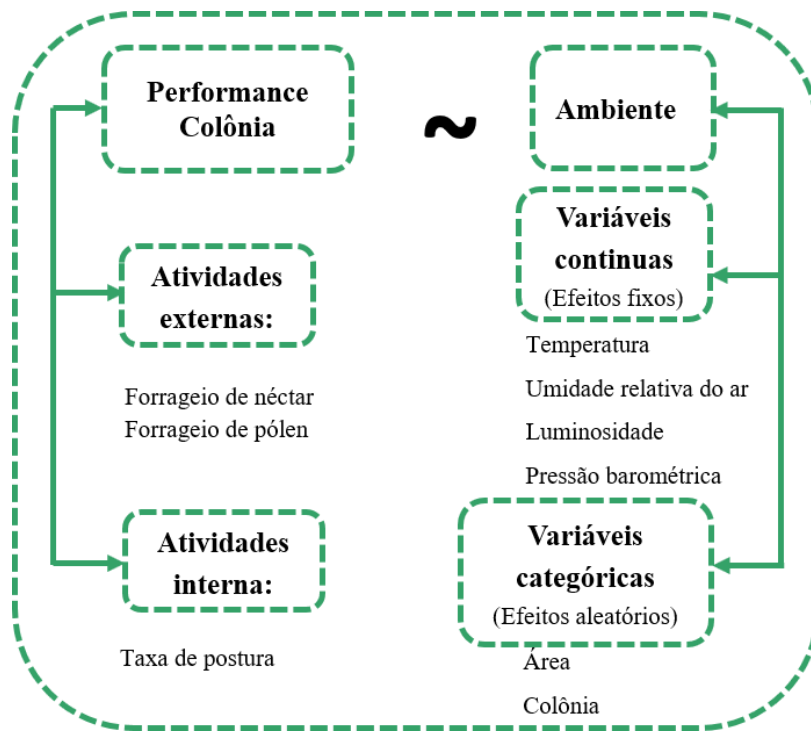


Figura 6. Modelo estatística hierárquica: relação entre as variáveis comportamentais (performance de colônias de *Melipona flavolineata*) e as variáveis climáticas consideradas como efeitos fixos. E a área e as colônias como efeitos aleatórios (variáveis que não podemos controlar).

RESULTADOS

Nossos resultados mostraram a performance de 12 colônias da abelha sem ferrão *M. flavolineata* ao longo de 10 semanas. Os efeitos da urbanização restringiram-se aos parâmetros climatológicos, os quais apresentaram variações temporais, ao longo do período do estudo (Fig. 7), bem como variações espaciais, entre as diferentes áreas de estudo (Fig. 1 do Anexo). Essas variações afetaram a performance das abelhas. Assim, as atividades tanto dentro (taxa de postura) quanto fora (forrageio de néctar e pólen) das colônias foram maiores nos ambientes agroflorestal e semi-urbano (Tabela 2). Enquanto no urbano, a atividade foi menor ao longo das coletas (Tabela 2), observando morte da primeira colônia após a segunda semana; e uma perda total das amostras da área urbana da sexta semana. Além disso, os resultados mostraram também uma redução nas atividades ao longo do tempo em todas as colônias (Fig. 1).

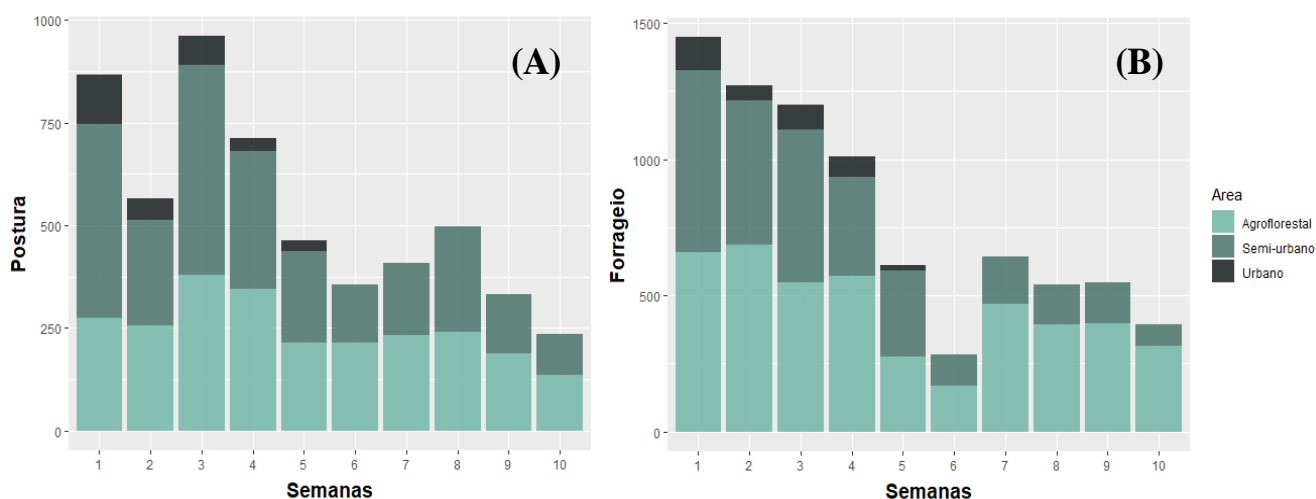


Figura 7. Desenvolvimento das colônias de *Melipona flavolineata* ao longo do período de coleta. (A) Taxa de postura ao longo das semanas de estudo. (B) Taxa de forrageio ao longo da semana de estudo. As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano.

Tabela 2. Médias e desvio padrão dos dados de forrageio de néctar e pólen e a taxa de postura de *Melipona flavolineata*, por colônia e por área estudada.

Área	N	Colônias	Forrageio de néctar		Forrageio de pólen		Taxa de postura	
			Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
Agroflorestal	37	1	24.60	8.43	2.25	1.80	2.25	1.80
		2	25.55	9.50	3.80	2.85	3.80	2.85
		3	16.61	10.07	1.46	1.90	1.46	1.90
		4	20.00	9.09	1.85	1.24	1.85	1.24
Semi-urbano	40	1	18.90	11.96	3.93	7.61	3.93	7.61

		2	15.30	11.37	2.78	4.26	2.78	4.26
		3	13.40	9.21	3.08	7.22	3.08	7.22
		4	12.63	6.93	1.73	3.37	1.73	3.37
Urbano	14	1	4.083	1.70	0.58	0.80	0.58	0.80
		2	1.75	NA	0.25	NA	0.25	NA
		3	7.45	3.10	0.60	0.63	0.60	0.63
		4	5.85	3.76	0.65	0.74	0.65	0.74

Durante o estudo a temperatura oscilou entre 27.60 °C e 31.33 °C, a umidade relativa do ar entre 79.49% e 82.16%, a luminosidade entre 633.2 lux e 21564 lux, e a pressão barométrica mostrou valores entre 29.79 e 29.92 bar (Tabela 3, fig. 8). Além de mostrarem uma grande variação entre as áreas de amostragem e as faixas de horários em que foram realizadas as coletas (Fig. 1 do anexo). A área urbana apresentou uma maior variação em todos os parâmetros climatológicos, exceto na pressão barométrica. Temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade, alcançaram valores altos e apresentaram uma variação maior comparado com os dados obtidos para as áreas semi-urbana e agroflorestal (Fig. 1 do anexo).

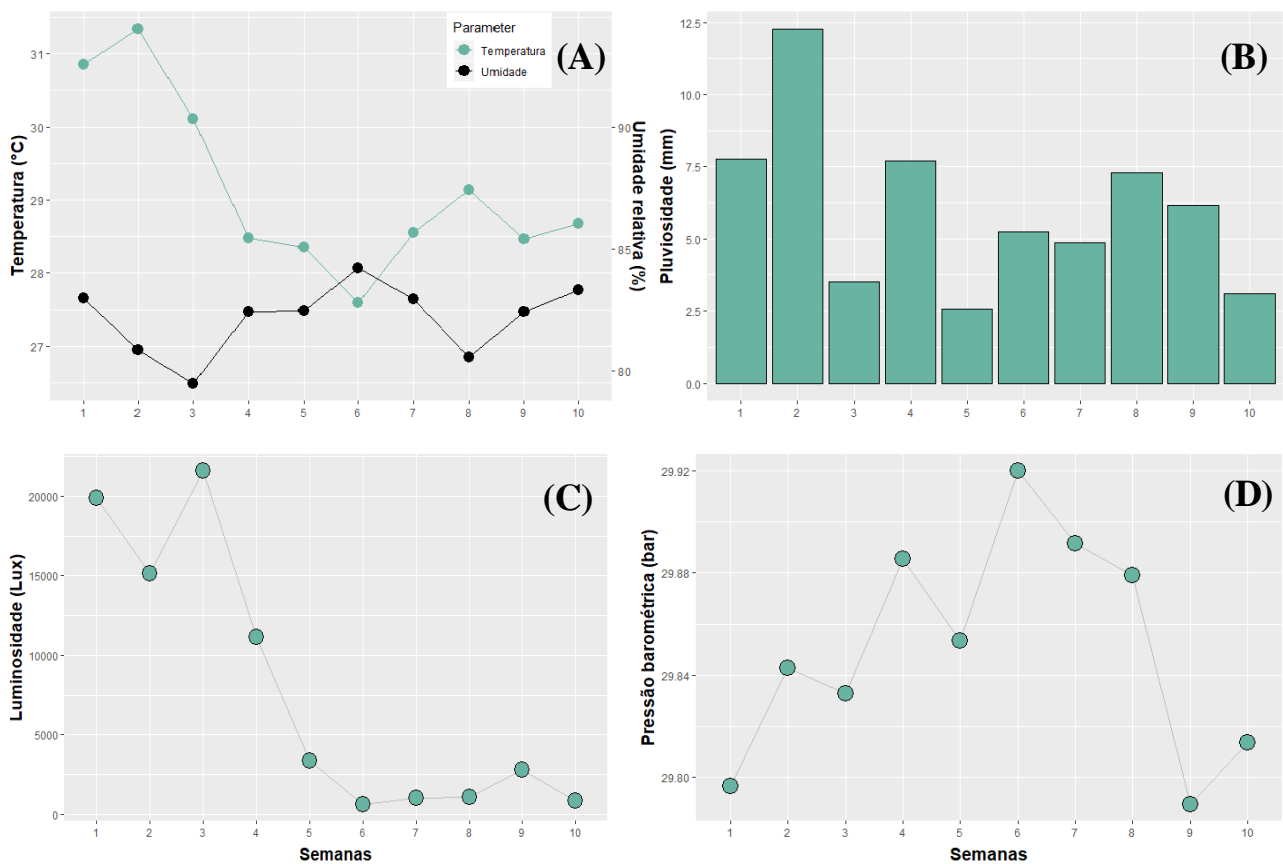


Figura 8. Variação dos parâmetros climatológicos durante o período de estudo. (A) dados da variação da temperatura e umidade relativa do ar ao longo das semanas, (B) níveis de pluviosidade ao longo das semanas, (C) dados da variação da luminosidade ao longo das semanas e (D) dados da variação da pressão barométrica ao longo das semanas. Dados de pluviosidade mensal (mm) foram obtidos do site www.inmet.gov.br.

Tabela 3. Valores mínimos, máximos e médias das variáveis climatológicas no municio de Belém no ano de 2019.

	Pluviosidade (mm)	Pressão barométrica (bar)	Luminosidade (lux)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
Valor mínimo	2.576	29.79	633.2	27.60	79.49
Valor máximo	12.262	29.92	21564.8	31.33	82.16
Valor da Média	6.049	29.85	7745.6	29.87	84.19

Atividade externa: Forrageio de pólen e néctar como resposta aos parâmetros climatológicos

Pólen e parâmetros climatológicos

Dentre as hipóteses levantadas para explicar a taxa de forrageio de pólen, a seleção de modelos apontou a pressão barométrica e a umidade relativa do ar como o modelo mais explicativo ($\Delta AIC = 0.00$, Tabela 4). O modelo mostrou um efeito negativo estatisticamente significativo, entre a pressão barométrica e o forrageio de pólen (value = -18.5800; $p = 0.04$), e um efeito positivo estatisticamente significativo entre a umidade relativa do ar e forrageio (value = 0.5594; $p < 0.05$) (Tabela 5).

Tabela 4. Modelos selecionados da relação entre o forrageio de pólen, forrageio de néctar, taxa de postura de *Melipona flavolineata*, com os parâmetros climatológicos, segundo o critério ΔAIC .

Variável	Inter.	Pres. bar	Umi. rel	Temp.	DF	logLik	AICc	ΔAIC	weight
Forrageio de pólen	511.1	-18.58	0.5594		6	-243.951	499.9	0.00	0.765
Forrageio de néctar	865.4	-31.96	-31.96		6	-318.427	648.9	0.00	0.501
	-219.0		1.969	2.468	6	-318.429	648.9	0.00	0.499
Taxa de postura	-584.5	16.93	1.131		6	-325.408	662.8	0.00	0.539

Inter.: Intercepto, Pres. Bar: Pressão barométrica, Umi. rel: Umidade relativa do ar, Temp: Temperatura, DF: Graus de liberdade, logLik: logaritmo natural da probabilidade, AICc: Valor de Akaike corrigido, ΔAIC : Valor de delta Akaike, weight: peso.

Tabela 5. Modelo linear misto, representando a relação entre o forrageio de pólen de *Melipona flavolineata* e parâmetros climatológicos de um gradiente de urbanização.

Efeitos fixos	Value	E.P	DF	t-value	p-value
Intercepto	511.0598	266.93825	77	1.914525	0.0593
Parâmetro climatológico					
Pressão barométrica	-18.5800	8.90115	77	-2.087376	0.0402
Umidade relativa do ar	0.5594	0.12692	77	4.407451	0.0000
Efeitos aleatórios				D.P	Residual
Colônias/Área				0.0001936573	3.580058

Value: Valor estatístico, S.E: Erro padrão, DF: Graus de liberdade, t-value: valor estatístico (t), p-value: Valor de significância

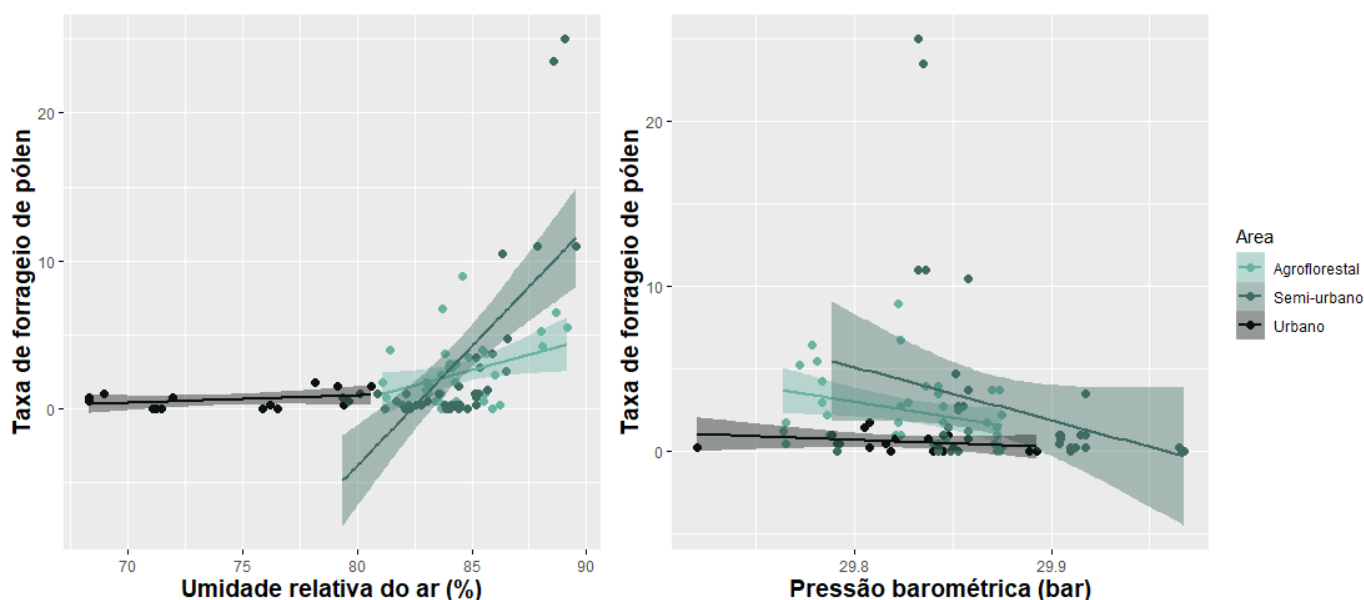


Figura 9. Diagrama de dispersão da relação entre parâmetros climatológicos (umidade relativa do ar (%) e pressão barométrica) e o forrageio de pólen de *Melipona flavolineata*. As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano.

Néctar e parâmetros climatológicos

No caso da relação entre o forrageio de néctar e os parâmetros climatológicos, as hipóteses levantadas mostraram que a pressão barométrica, umidade relativa do ar e a temperatura como o modelo mais explicativo ($\Delta AIC = 0.00$, Tabela 4). Sendo que a umidade relativa do ar (Value = 2.4683; $p < 0.05$) e a temperatura (Value = 1.6189; $p < 0.05$) apresentaram um efeito positivo e estatisticamente significativo sobre o forrageio de néctar (Tabela 6). A pressão barométrica teve um efeito negativo, mas apesar de indicar o efeito, nossos dados não foram suficientes para captar um efeito significativo nessa variável (Value = -31.9644; $p = 0.12$) (Tabela 6).

Tabela 6. Modelo linear misto, representando a relação entre o forrageio de néctar de *Melipona flavolineata* e parâmetros climatológicos de um gradiente de urbanização.

Efeitos fixos	Value	S.E	DF	t-value	p-value
Modelo 1					
Intercepto	865.3529	609.1826	77	1.420515	0.1595
Parâmetro climatológico					
Pressão barométrica	-31.9644	20.3620	77	-1.569803	0.1206
Umidade relativa do ar	1.2698	0.2634	77	4.821480	0.0000
Efeitos aleatórios				D.P	Residual
Colônias/Área				1.640986	8.298526
Modelo 2					
Intercepto	-218.9533	47.08180	77	-4.650488	0.0000
Parâmetro climatológico					
Temperatura	2.46831	0.78853	77	3.130254	0.0025
Umidade relativa do ar	1.96863	0.35714	77	5.512213	0.0000
Efeitos aleatórios				D.P	Residual
Colônias/Área				2.15255	7.856603
Avg. Model					
Intercepto	323.7420	693.3788	697.7017	0.464	0.64264
Parâmetro climatológico					
Pressão barométrica	-31.9644	20.3620	20.6871	1.545	0.12231
Temperatura	1.6189	0.4696	0.4729	3.423	0.00062***
Umidade relativa do ar	2.4683	0.7885	0.8011	3.081	0.00206**

Value: Valor estatístico, Est.: Estimado do valor estatístico, S.E: Erro padrão, Adjusted S.E: Erro padrão ajustado, DF: Graus de liberdade, z-value: valor estatístico (z), t-value: valor estatístico (t), p-value: Valor de significância (Código de significância: 0 '***', 0.001 '**', 0.01 '*', 0.05 '.', 0.1 ' ' 1)

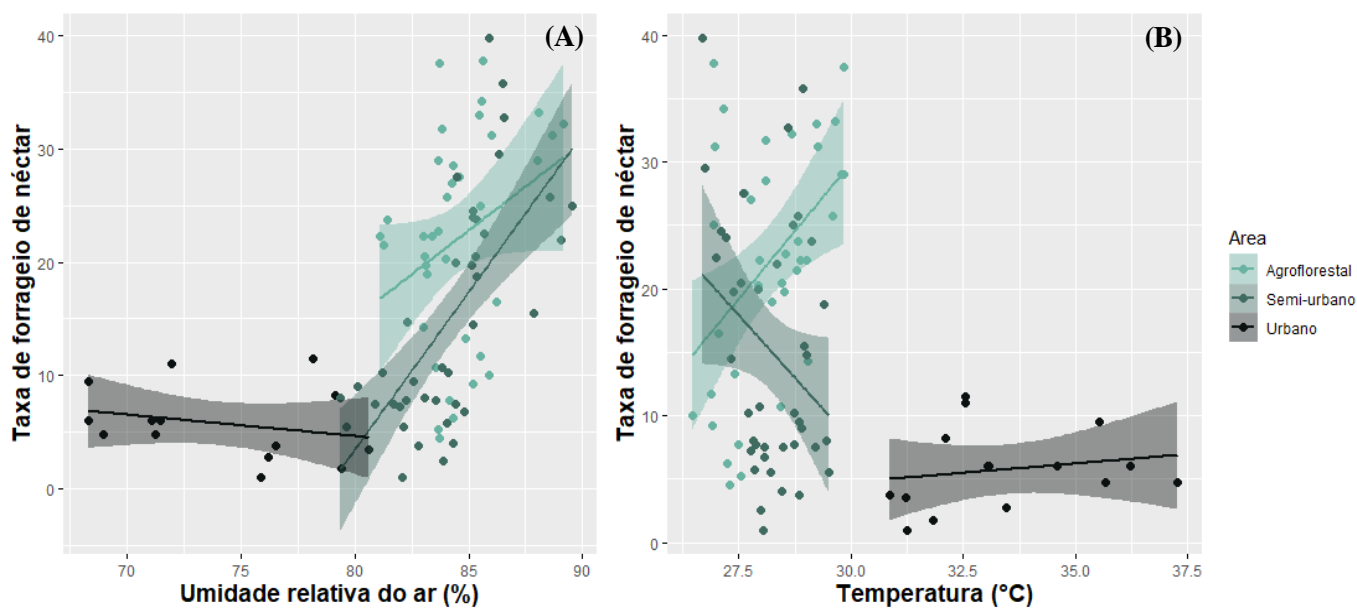


Figura 10. Diagrama de dispersão da relação entre parâmetros climatológicos (umidade relativa do ar e temperatura) e o forrageio de pólen de *Melipona flavolineata*. As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano

Atividade interna: Taxa de postura como resposta aos parâmetros climatológicos

Enquanto a taxa de postura como resposta aos parâmetros climatológicos, o modelo mostrou que a pressão barométrica e umidade relativa do ar, são as melhores variáveis para explicar essa relação ($\Delta AIC = 0.00$, Tabela 4). Sendo que a umidade relativa do ar apresentou um efeito positivo e estatisticamente significativo sobre a taxa de postura (Value = 1.1306; $p < 0.05$) (Tabela 7). A pressão barométrica teve um efeito positivo, mas apesar de indicar o efeito, nossos dados não foram suficientes para captar um efeito significativo nessa variável (Value = 16.9301; $p = 0.42$) (Tabela 7).

Tabela 7. Modelo linear misto, representando a relação entre taxa postura de néctar de *Melipona flavolineata* e parâmetros climatológicos da área urbana de Belém.

Efeitos fixos	Value	E.P	DF	t-value	p-value
Intercepto	-584.4606	632.1156	77	-0.924610	0.3581
Parâmetro climatológico					
Pressão barométrica	16.9301	21.1571	77	0.800212	0.4260
Umidade relativa do ar	1.1306	0.2688	77	4.206092	0.0001
Efeitos aleatórios				D.P	Residual
Colônias/Área				4.809182	8.605699

Value: Valor estatístico, S.E: Erro padrão, DF: Graus de liberdade, t-value: valor estatístico (t), p-value: Valor de significância

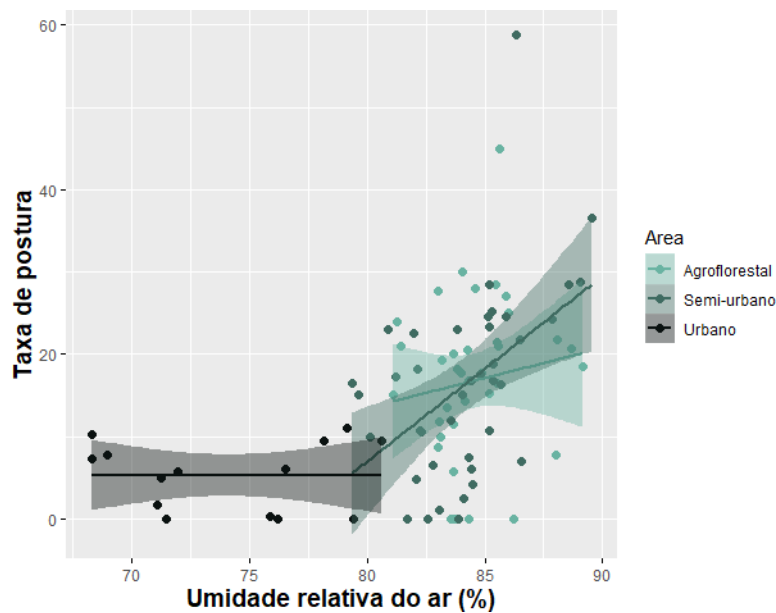


Figura 11. Relação entre parâmetros climatológicos (umidade relativa do ar) e a taxa de postura de *Melipona flavolineata*. As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano.

Relação entre forrageio de néctar forrageiras de pólen.

As análises de correlação mostraram que existe uma relação alta e positiva entre o forrageio de néctar e o forrageio de pólen de *M. flavolineata* nos três pontos de coleta, mesma que foi estatisticamente significativa ($R = 0.75$, $p < 0.05$); ou seja, quanto maior foi a coleta de néctar, maior a coleta de pólen. A área agroflorestal e a semi-urbana mostraram uma amplitude similar dos dados e evidentemente maior do que a amplitude contendo os dados da área urbana. Mas as três com a mesma tendência positiva (Fig.12).

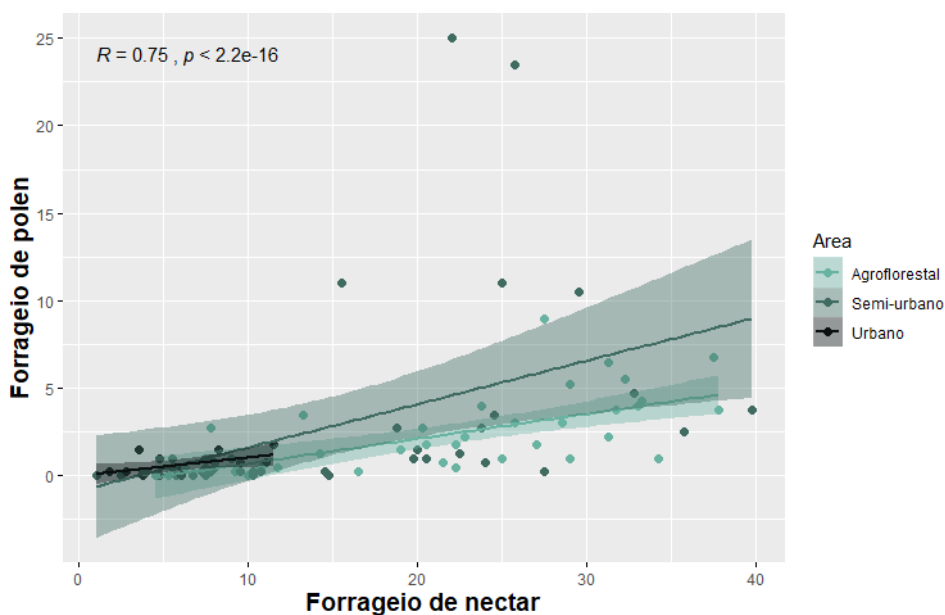


Figura 12. Correlação linear simples que mostra a relação entre o forrageio de pólen e o forrageio de néctar de *Melipona flavolineata*. As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. As áreas sombreadas definem os intervalos de confiança a 95% e as linhas a tendência dos dados.

Relação entre taxa de forrageio e taxa de postura

As análises de correlação mostraram que existe uma relação intermediária e positiva entre a taxa de forrageio e a taxa de postura de *M. flavolineata* nos três pontos de coleta, mesma que foi estatisticamente significativa ($R = 0.62$, $p < 0.05$); ou seja, quanto maior foi a coleta de recursos, maior foi a produção de ovos dentro da colônia. A área agroflorestal mostrou uma amplitude maior dos dados, seguido da área semi-urbana, e finalmente, área urbana com uma amplitude menor. Mas as três com a mesma tendência positiva (Fig.13).

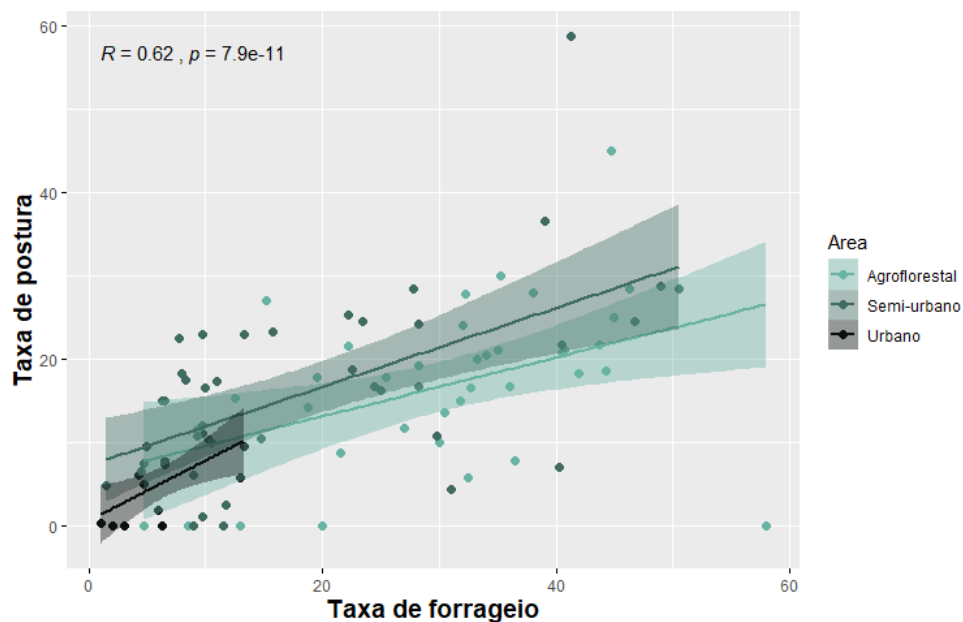


Figura 13. Correlação linear simples que mostra a relação entre a taxa de forrageio e a taxa de postura de *Melipona flavolineata*. As cores dos pontos indicam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. As áreas sombreadas definem os intervalos de confiança a 95% e as linhas a tendência dos dados.

DISCUSSÃO

As mudanças climáticas produto da urbanização, representam um desafio para as espécies de meliponíneos. Na atualidade o crescimento de áreas urbanizadas, tem sido uma das principais causas de perda de biodiversidade desse grupo de abelhas por ter gerado condições que não são ótimas para seu desenvolvimento (Rathcke & Jules, 1993). No entanto, o fato de como se comportam os meliponíneos, como resposta a essas variações climáticas dentro de um gradiente de urbanização, é um tópico que ainda não tem sido explorado. Nesse sentido, conhecer a ecologia urbana das abelhas sem ferrão, e compreender como as colônias e os indivíduos respondem às alterações nos ambientes onde ocorrem, nos dará uma base e um melhor panorama para melhorar o manejo destas espécies.

Neste estudo avaliamos fatores comportamentais (taxa de forrageio e taxa de postura) da espécie *M. flavolineata* e fatores climatológicos (umidade relativa do ar, temperatura, luminosidade e pressão barométrica) em ambientes com diferentes níveis de urbanização (agroflorestal, semi-urbana e urbana), para determinar a relação existente entre a espécie e o ambiente. Segundo as análises, determinamos que existe uma diferença e alta variação nos fatores climáticos (Fig.1 do Anexo) em diferentes níveis de urbanização (apesar de ser locais próximos e estar localizados dentro do mesmo município) (Fig. 1). Estas variações afetaram a performance da abelha *Melipona flavolineata*, reduzindo a atividade de forrageio e a taxa de postura ao longo do tempo, mostrando que a umidade relativa do ar, a temperatura e a pressão barométrica, são os fatores climatológicos que tem influência sobre o comportamento da espécie tanto para atividades externas, quanto internas.

No forrageio de pólen a influência da pressão barométrica e da umidade relativa do ar, apresentaram uma relação negativa e positiva respectivamente; sendo as duas variáveis significativas para essa variável resposta, que mostra que o forrageio de pólen é maior a maior umidade e reduzido ante uma queda da pressão. No forrageio de néctar, as variáveis relacionadas foram a pressão barométrica que apresentou uma relação negativa, e a temperatura e umidade relativa apresentaram uma relação positiva, estas últimas significativas, mostrando que a coleta de néctar é maior em períodos de maior umidade e temperaturas moderadas (ambientes agroflorestal e semi-urbano). A taxa de postura apresentou uma relação positiva com a pressão barométrica e a umidade relativa do ar, mas só a última foi significativa, mostrando finalmente que a umidade é um parâmetro que influencia positivamente as atividades das abelhas, tanto em forrageio, como em produção de novos indivíduos. A relação entre o forrageio de pólen e néctar foi positiva e significativa, mas apresentou a mesma tendência em diferentes graus de urbanização. A taxa de forrageio com a taxa de postura mostraram também a mesma tendência em todas as áreas, com uma relação positiva e significativa.

Estudos realizados com insetos ao longo do tempo, mostraram que a umidade relativa e temperatura em conjunto com outros parâmetros, têm sido considerados os mais importantes com relação às diferentes respostas ou adaptações no comportamento dos insetos (Hilário et al., 2001; Nates-Parra & Rodríguez, 2011; Oliveira et al., 2012; Maia-Silva et al., 2015; Becker et al., 2018), coincidindo com os nossos resultados, principalmente em atividades de voo. Como a temperatura e a umidade relativa do ar apresentaram uma variação alta entre as áreas de coleta (sendo muito variável na área “urbana”), essa condição poderia ter limitado as atividades de forrageio da espécie a determinados horários do dia, ocasionando uma restrição térmica nas forrageiras, produto do aquecimento e a perda de energia durante o forrageio (Willmer & Corbet, 1981; Roubik, 1993; Maia-Silva et al., 2015). Essa condição poderia ter sido agravada devido às diferenças nos parâmetros climáticos registrados nos ambientes representando diferentes graus de urbanização (Silva et al., 2011).

A umidade relativa do ar teve um efeito positivo e significativo no forrageio de pólen. O forrageio foi aumentando quando os valores de umidade foram maiores, contrário ao registrado por Nates-Parra & Rodríguez C (2011) em *M. eburnea*, que mostraram que a umidade relativa apresenta uma correlação negativa com a entrada de pólen em épocas secas (comparando a época com o padrão geral dos dados climáticos). Como a umidade é inversamente proporcional à temperatura, pode ser que essa relação foi dada já que nos pontos de coleta onde se registraram valores menores de umidade, os valores de temperatura foram muito altas, apresentando condições desfavoráveis ao forrageio de pólen (Maia-Silva et al., 2014). Contrário ao descrito por Souza et al. (2006), que encontraram que em *M. asilvai* (abelha de bioma Caatinga), existe uma correlação positiva entre a temperatura com a entrada de abelhas y recoleção de pólen. Existe evidencia de que as operarias do gênero *Melipona* iniciam o forrageio nas primeiras horas da manhã (Bruijn & Sommeijer, 1997; Hilário et al., 2003; Cortopassi-Laurino, 2004; Borges & Blochtein, 2005; Souza et al., 2006), que provavelmente seja um comportamento que pode ter aparecido evolutivamente com a adaptação às condições ambientais do entorno (Guibu & Imperatriz-Fonseca, 1984; Cortopassi-Laurino, 2004), e que com frequência coincidem com períodos de alta umidade relativa nos trópicos (Fig. 2 A do Anexo) (Guibu, L. S., & Imperatriz-Fonseca, 1984; Bruijn & Sommeijer, 1997; Hilário et al., 2000; Pierrot & Schindwein, 2003; Carvalho-Zilse et al., 2007; Cortopassi-Laurino et al., 2007; Fidalgo & Kleinert, 2007), o qual seria bom testar nesta espécie em estudos futuros, sob diferentes níveis de urbanização.

A temperatura e umidade relativa do ar tiveram uma influência no comportamento de forrageio de néctar. O forrageio de néctar apresentou uma tendência positiva nos ambientes agroflorestal e semi-urbano e uma negativa no ambiente urbano com respeito à umidade. Mas com a

temperatura o padrão se manteve com o ambiente agroflorestal, mas mudou com os ambientes semi-urbano e urbano (Fig. 10). Nossos dados corroboram outras observações nas quais a temperatura parece ser o fator ambiental mais importante para a atividade externa das abelhas (Iwama, 1977; Corbet et al., 1993), assim como Hilário et al. (2000) que demonstrou que em *M. bicolor* existe maior atividade externa quando a umidade relativa é alta e a temperatura moderada. A influência desses ambos fatores está amplamente documentada para os himenópteros Apidae (Iwama, 1977; Sihag & Abrol, 1986, Hilário et al., 2000); mas geralmente, se tem demonstrado que a temperatura é o principal fator gerador de mudanças no comportamento de alguns himenópteros como Apidae (Burrill & Dietz, 1981; Heard & Hendrikz, 1993), Ichneumonidae (Dyer & Landis, 1997), Trichogrammatidae (Boldt, 1974) e Chalcididae (Barbosa & Frongillo, 1977); mas nesses estudos apresentam resultados inversos aos obtidos no nosso; provavelmente pelo ambiente em que foi realizado, pois apresentaram condições e índices do clima não favoráveis para as abelhas nativas, que têm pouca plasticidade de adaptação comparado com a *A. mellifera*, uma espécie adaptável aos ambientes urbanizados (Couvillon et al, 2014; Garbuzov et al., 2014).

Estudos de pressão barométrica foram deixados de ser tomados em conta, por ser um fator que está mais relacionado com outros parâmetros ambientais, especificamente com a pluviosidade (Crespo & Castelo, 2012); porém, durante o período de coleta de esta pesquisa, não houve registro de chuvas, razão pela qual assumimos que os níveis de pressão barométrica durante o estudo apresentaram uma variação mínima em relação com os outros parâmetros (fig. 8D). Foi o único parâmetro que se manteve “estável” nos diferentes tipos de ambientes, exceto por alguns outliers, porém houve menos variação e frequência no comportamento de forrageio, principalmente no forrageio de pólen, onde a relação foi negativa e significativa, ou seja quanto maior foi a pressão, menor foi o registro de forrageiras voltando com pólen; mostrando que as abelhas são sensíveis as variações de este parâmetro climatológico.

De fato, tais variações implicam mudanças climáticas que poderiam ser associadas com maiores riscos de mortalidade, particularmente de organismos de menor tamanho (espécies pequenas) (Wellington, 1946). Assim, essa relação poderia estar demonstrando que os indivíduos são capazes de detectar mudanças iminentes nas condições climáticas, como mostram alguns estudos realizados em insetos, que sugerem que mudanças nos comportamentos de forrageio e acasalamento são resposta à mudança da pressão barométrica (Wellington, 1946; Pellegrino et al., 2013). Mamíferos voadores e aves, que compartilham com as abelhas o característica de voar, modificam os seus comportamentos em resposta à rápida queda na pressão atmosférica nas horas que precedem uma chuva intensa (Wellington, 1946; Paige, 1995; Breuner et al., 2013; Fournier et al., 2009). O aumento na pressão

barométrica está normalmente associado a climas ótimos, enquanto que a queda pode se relacionar com chuvas e ventos muito fortes que para insetos como as abelhas pode provocar índices altos de mortalidade (Pellegrino, et al. 2013)

Por outro lado, observamos que em relação à taxa de postura de *M. flavolineata* foi diminuindo ao longo das semanas, coincidindo também com a época mais quente (seca) do período de coleta, apresentando condições climáticas pouco favoráveis para as abelhas (Figs. 7 e 8) (Maia-Silva et al., 2016) e encontrando colônias debilitadas como resultado do período de chuvas (tempo em que a colônia se mantém principalmente com os alimentos armazenados nas colônias e o forrageio é limitado). Normalmente essa redução é provocada por alterações climáticas como foram demonstrados em alguns estudos realizados em ambientes de clima frio (Bentham et al., 1995, Nunes-Silva et al., 2010).

De acordo com os nossos resultados, assumimos que a taxa de postura foi afetada pela alta variação dos parâmetros climatológicos apresentados nas áreas com diferente grau de urbanização, principalmente no ambiente urbano, onde as condições foram, ao parecer, por completo desfavoráveis para a espécie de estudo; causando a morte de algumas colônias durante o período de experimentos. Assumimos que essa perda de colônias foi produzida pela diminuição da atividade de postura, já que o aumento ou diminuição da produção de crias regula o número de indivíduos nas colônias (maior número de forrageiras), o que se traduz em uma maior quantidade de forrageio e pólen, aumento de recursos estocados na colônia, e conseqüentemente um aumento na taxa de postura (Maia-Silva et al., 2015), criando assim um ciclo de bem-estar das colônias.

A relação da atividade de postura com a umidade relativa foi positiva, mostrando que essa variável climática influencia no comportamento de postura, dados similares aos obtidos por Maia-Silva (2015). Assim, poderíamos definir a umidade relativa como uma variável contingente (fatores situacionais; variáveis que moderam a relação entre variáveis dependentes e independentes e melhoram a correlação) em habitats tropicais úmidos, tendo em consideração o padrão de variação apresentado em diferentes graus de urbanização (Silva et al., 2011). Por outro lado, a relação entre as taxas de forrageio e de postura apresentaram, assim como a relação entre o forrageio de pólen e o forrageio de néctar, foram positivas e significativas, com uma tendência positiva nos três ambientes com diferentes graus de urbanização, que ao parecer estão mais relacionados com os recursos disponibilizados tanto no ambiente e os estocados na colônia, como se tem demonstrado nos estudos de Souza et al, 2006, Nates-Parra et al. 2011 e Maia-Silva et al. 2015, que mostram que grandes

quantidades de alimento na colônia (principalmente pólen) e no ambiente (pólen e néctar) sugerem maior estímulo de postura, maior crescimento da colônia, e conseqüentemente maior forrageio.

Entretanto, apesar de que o ambiente urbanizado tenha apresentado condições não favoráveis para o desenvolvimento da espécie *M. flavolineata*, outras espécies poderiam mostrar uma maior adaptabilidade, e uma melhor tolerância as mudanças climáticas. Espécies de abelhas menores que possam forragear em espécies vegetais herbáceas ou arbustivas que são próprios de jardins particulares encontrados em áreas urbanas; ou que sejam mais tolerantes a temperaturas ambientais altas como por exemplo, *Plebeia emerina* (21 – 27 °C) e *Plebeia remota* (22 – 29 °C) (Kleinert-Giovannini, 1982; Imperatriz-Fonseca et al., 1985). Na prática, forrageiras do gênero *Melípona* não são encontradas comumente em ambientes urbanos, por terem um forrageio limitado, pois elas normalmente forrageiam nas copas de árvores. (Roubik, 1993).

Finalmente para uma melhor compreensão dos fatores que afetam o comportamento de abelhas sem ferrão em áreas urbanas, é preciso ainda analisar a influência de outros fatores mais a fundo como é o caso da pressão barométrica. Além, para maior entendimento do comportamento, não é suficiente apenas avaliar a taxa de forrageio e postura, determinar se a influência das mudanças apresentadas em um gradiente urbano sobre pode variar o tamanho das forrageias, produto da escassez de alimento estocado, ou da qualidade; o consumo e/ou reposição dos recursos estocados, o raio de ação de cada espécie; seriam tópicos que ajudariam a ter um panorama mais completo para um melhor manejo das espécies de abelhas sem ferrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleixo, K. P., De Faria, L. B., Garófalo, C. A., Fonseca, V. L. I., & Da Silva, C. I. (2013). Pollen collected and foraging activities of *Frieseomelitta varia* (lepeletier) (hymenoptera: Apidae) in an urban landscape. *Sociobiology*, 60(3), 266–276.
<https://doi.org/10.13102/sociobiology.v60i3.266-276>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728.
<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Araújo, E.D., Costa, M., Chaud-Netto, J. & Fowler, H. G. (2004). Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera: Meliponini): inference of flight range and possible ecological implications. *Braz. J. Biol.*, 64, 563–568.
- Barbosa, P., & Frongillo, E. A. (1977). Influence of light intensity and temperature on the locomotory and flight activity of *Brachymeria intermedia* [Hym.: Chalcididae] a pupal parasitoid of the gypsy moth. *Entomophaga*, 22(4), 405–411. <https://doi.org/10.1007/BF02373266>
- Becker, T., Pequeno, P. A. C. L., & Carvalho-Zilse, G. A. (2018). Impact of environmental temperatures on mortality, sex and caste ratios in *Melipona interrupta* Latreille (Hymenoptera, Apidae). *Science of Nature*, 105(9–10). <https://doi.org/10.1007/s00114-018-1577-6>
- Boldt, P. E. (1974). Temperature , Humidity , and Host : Effect on Rate of Search of. 706–708.
- Breuner, C. W., Sprague, R. S., Patterson, S. H., & Woods, H. A. (2013). Environment, behavior and physiology: Do birds use barometric pressure to predict storms? *Journal of Experimental Biology*, 216(11), 1982–1990. <https://doi.org/10.1242/jeb.081067>
- Brosi, B. J., Daily, G. C., Shih, T. M., Oviedo, F., & Durán, G. (2008). The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 773–783. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01412.x>
- Burrill, R. M., & Dietz, A. (1981). the Response of Honey Bees To Variations in Solar Radiation and Temperature. *Apidologie*, 12(4), 319–328.
<https://doi.org/10.1051/apido:19810402>
- Camargo, J. M. F., & Roubik, D. W. (1991). Systematics and bionomics of the apoid obligate necrophages: the *Trigona hypogea* group (Hymenoptera: Apidae; Meliponinae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 44(1), 13–39. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00604.x>

- Cameron, R. W. F., Blanuša, T., Taylor, J. E., Salisbury, A., Halstead, A. J., Henricot, B., & Thompson, K. (2012). The domestic garden - Its contribution to urban green infrastructure. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11(2), 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.01.002>
- Campbell, A. J., Carvalheiro, L. G., Maués, M. M., Jaffé, R., Giannini, T. C., Freitas, M. A. B., Menezes, C. (2018). Anthropogenic disturbance of tropical forests threatens pollination services to açai palm in the Amazon river delta. *Journal of Applied Ecology*, 55(4), 1725–1736. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13086>
- Campbell, A. J., Gomes, R. L. C., da Silva, K. C., & Contrera, F. A. L. (2019). Temporal variation in homing ability of the neotropical stingless bee *Scaptotrigona aff. postica* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Apidologie*, 50(5), 720–732. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00682-z>
- Carvalho-Zilse, G. A., Porto, E. L. P., Silva, C. G. N. da S. da, & Pinto, M. de F. F. da C. (2007). Atividades de vôo de operárias de *Melipona seminigra*: abelhas sem ferrão da Amazônia. *Bioscience Journal*, 23(1), 94–99. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572000000300019>
- Corbet, S. A., Fussell, M., Ake, R., Fraser, A., Gunson, C., Savage, A., & Smith, K. (1993). Temperature and the pollinating activity of social bees. *Ecological entomology*, 18(1), 17–30.
- Collevatti, R. G., Schoereder, J. H., & Campos, L. A. (2000). Foraging behavior of bee pollinators on the tropical weed *Triumfetta semitriloba*: flight distance and directionality. *Revista Brasileira de Biologia*, 60(1), 29–37. <https://doi.org/10.1590/S0034-71082000000100005>
- Cortopassi-Laurino, M. (2004). Seasonal strategies of harvesting by *Melipona* sp. in the Amazon region. Proceedings of the 8th IBRA International Conference on Tropical Bees and VI Encontro Sobre Abelhas, Ribeirao Preto, Brasil, 6-10 September, 2004, 2004, 258–263.
- Cortopassi-Laurino, M., Velthuis, H. H. W., & Nogueira-Neto, P. (2007). Diversity of stingless bees from the Amazon forest in Xapuri (Acre), Brazil. Proceedings of the Netherlands Entomological Society, 18(January 2007), 105–114.
- Couvillon, M. J., Schürch, R., & Ratnieks, F. L. W. (2014). Waggle dance distances as integrative indicators of seasonal foraging challenges. *PLoS ONE*, 9(4), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093495>
- Crespo, J. E., & Castelo, M. K. (2012). Barometric pressure influences host-orientation behavior in the larva of a dipteran ectoparasitoid. *Journal of Insect Physiology*, 58(12), 1562–1567.

<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.09.010>

- Cristina Ferreira da Costa, C., Antônio Krupek, R., & Carolina de Deus Bueno Krawczyk, A. (2015). Diversidade de visitantes florais e biologia reprodutiva do Araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) em fragmento de mata e área urbana. *Bioikos*, 29(2), 11–18.
- De Bruijn, L. L. M., & Sommeijer, M. J. (1997). Colony foraging in different species of stingless bees (Apidae, Meliponinae) and the regulation of individual nectar foraging. *Insectes Sociaux*, 44(1), 35–47. <https://doi.org/10.1007/s000400050028>
- De Menezes Pedro, S. R. (2014). The stingless bee fauna in Brazil (Hymenoptera: Apidae). *Sociobiology*, 61(4), 348–354. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i4.348-354>
- de Oliveira, F. L., Filgueira, M. A., Dias, V. H. P., da Costa, E. M., & Sobrinho, J. E. (2012). Influence of climatic variations on the flight activity of the Jandaira bee *Melipona subnitida* Ducke (Meliponinae). *Revista Ciencia Agronomica*, 43(3), 598–603. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300024>
- Dyer, L. E., & Landis, D. A. (1997). Diurnal Behavior of *Eriborus terebrans* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Environmental Entomology*, 26(6), 1385–1392. <https://doi.org/10.1093/ee/26.6.1385>
- Ehrlich, P. R., & Raven, P. H. (1964). Butterflies and Plants: A Study in Coevolution. *Evolution*, 18(4), 586. <https://doi.org/10.2307/2406212>
- Elionaldo Benevides Pinheiro, Patrício Borges Maracajá, Luciene Xavier de Mesquita, Benito Soto-Blanco, R. B. de O. F. (2009). Efeito De Diferentes Alimentos Sobre a Longevidade Effect of Different Foods on the Longevity of Operator. *Revista Verde*, 4(3), 50–56.
- Elliott, P. E. (1988). Foraging behaviour of a central-place forager: field tests of theoretical predictions. *American Naturalist*, 131(2), 159–174. <https://doi.org/10.1086/284784>
- Fidalgo, A. O., & Kleinert, A. M. P. (2007). Foraging behavior of *Melipona rufiventris* Lepeletier (Apinae; Meliponini) in Ubatuba, SP, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 67(1), 133–140. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842007000100018>
- Figueiredo-Mecca, G., Bego, L. R., & Nascimento, F. S. (2013). Foraging behavior of scaptotrigona depilis (hymenoptera, apidae, meliponini) and its relationship with temporal and abiotic factors. *Sociobiology*, 60(3), 277–282. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v60i3.277-282>
- Fournier, F., Pelletier, D., Vigneault, C., Goyette, B., & Boivin, G. (2009). Effect of barometric

pressure on flight initiation by *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Environmental Entomology*, 34(6), 1534–1540.
<https://doi.org/10.1603/0046-225x-34.6.1534>

Gamboa Samper, P. (2003). El sentido urbano del espacio público. *Bitácora Urbano-Territorial*, 1(7), 13–18.

Gamboa Samper, P. (2003). El sentido urbano del espacio público. *Bitácora Urbano-Territorial*, 1(7), 13–18.

Garbuzov, M., Schürch, R., & Ratnieks, F. L. W. (2015). Eating locally: dance decoding demonstrates that urban honey bees in Brighton, UK, forage mainly in the surrounding urban area. *Urban Ecosystems*, 18(2), 411–418. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0403-y>

Giannini, T. C., Cordeiro, G. D., Freitas, B. M., Saraiva, A. M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 108(3), 849–857. <https://doi.org/10.1093/jee/tov093>

Gomes, R. L. C. (2013). Relação entre longevidade e forrageio em operárias de *Melipona fasciculata* Smith, 1854 (Apidae, Meliponini) em ambiente tropical (Universidade Federal do Pará). Retrieved from <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/6899>

Guibu, L. S., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (1984). Atividade externa de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). *Ciên. e Cult*, 36(7), 623.

Heard, T. A., & Hendrikz, J. K. (1993). Factors influencing flight activity of colonies of the stingless bee *Trigona carbonaria* (Hymenoptera: Apidae). *Australian Journal of Zoology*, 41(4), 317–323. <https://doi.org/10.1071/ZO9930343>

Hilário, S. D., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Kleinert, A. de M. P. (2001). Responses to climatic factors by Foragers of. *Rev. Brasil. Biol.*, 61(2), 191–196.

Hilário, S. D., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Kleinert, A. de M. P. (2000). Flight activity and colony strength in the stingless bee *Melipona bicolor bicolor* (Apidae, Meliponinae). *Revista Brasileira de Biologia*, 60(2), 299–306. <https://doi.org/10.1590/s0034-71082000000200014>

Hilário, Sergio Dias, Gimenes, M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2003). The influence of colony size in diel rhythms of flight activity of *Melipona bicolor* Lepeletier (Hymenoptera, Apidae,

Meliponini). Apoidea Neotropica: Homenagem Aos 90 Anos de Jesus Santiago Moure, Editora UNESC, Criciúma, 191–197.

Imperatriz-Fonseca, V. L.; Kleinert-Giovannini, A.; Pires, J. T. (1985). Climate variations influence on the flight activity of *Plebeia remota* Holmberg (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). Revista Brasileira de Entomologia., Vol 29, Nu.

Iwama, S. (1977). A influência dos fatores climáticos na atividade externa de *Tetragonisca angustula* (Apidae, Meliponinae). Bol. Zool.

Kerr, W., Zucchi, R., Nakadaira, J., & Butolo, J. (2013). Reproduction in the social bees (Hymenoptera: Apidae). Journal of the New York Entomological Society, 265-276.

Kleinert-Giovannini, A. (1982). Influence of climatic factors on flight activity of *Plebeia emerina* Friese (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) in winter. Revista Brasileira de Entomologia.

Kleinert-Giovannini, A., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (1986). Flight activity and responses to climatic conditions of two subspecies of *Melipona marginata* lepeletier (Apidae, meliponinae). Journal of Apicultural Research, 25(1), 3–8. <https://doi.org/10.1080/00218839.1986.11100685>

Kleinert, A. M. (2005). Colony strength and queen replacement in *Melipona marginata* (Apidae: Meliponini). Brazilian Journal of Biology = Revista Brasileira de Biologia, 65(3), 469–476. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842005000300012>

Kowarik, I. (2011). Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation. Environmental Pollution, 159(8–9), 1974–1983. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.022>

Lima, E., Emanuel, A., Lima, S. De, Genilsa, L., Silva, D. S., & De, P. D. A. (2013). Padrão de atividades de forrageamento de abelhas mandaçaia (*Melipona quadrifasciata*) e jandaíra (*Melipona subnitida*) no sertão do pajeú-pe. (087), 9–11.

Lopes, B. dos S. C. (2018). Efeitos da orfandade sobre o comportamento e longevidade de operárias de *Scaptotrigona aff. postica* (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) (Universidade Federal do Pará). Retrieved from <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/11206>

M. Ramalho, Kleinert-Giovannini, A., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (1989). Utilization of floral Imperatriz-Fonseca by species of *Melipona* (Apidae, Meliponinae): floral preferences. Apidologie, 20, 185–195.

Maia-Silva, C., Hrcir, M., da Silva, C. I., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). Survival strategies of stingless bees (*Melipona subnitida*) in an unpredictable environment, the Brazilian tropical dry

forest. *Apidologie*, 46(5), 631–643. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0354-1>

Maia-Silva, C., Hrnčir, M., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Schorkopf, D. L. P. (2016). Stingless bees (*Melipona subnitida*) adjust brood production rather than foraging activity in response to changes in pollen stores. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 202(9–10), 723–732. <https://doi.org/10.1007/s00359-016-1095-y>

Maia-Silva, C., Imperatriz-Fonseca, V. L., Silva, C. I., & Hrnčir, M. (2014). Environmental windows for foraging activity in stingless bees, *Melipona subnitida* Ducke and *Melipona quadrifasciata* Lepelletier (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Sociobiology*, 61(4), 378–385. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i4.378-385>

Michener, C. D. (1974). *The social behavior of the bees: a comparative study*. Harvard University Press. also

Michener, C. D. (2013). *Pot-honey. Pot-Honey: A Legacy of Stingless Bees*.

Nates-Parra, G., Alejandro Parra, H., Rodríguez, A., Baquero, P., & Vélez, D. (2006). Abejas silvestres (hymenoptera: Apoidea) en ecosistemas urbanos: Estudio en la ciudad de Bogotá y sus alrededores. *Revista Colombiana de Entomología*, 32(1), 77–84.

Nates-Parra, G., & Rodríguez C, Á. (2011). Forrajeo en colonias de *Melipona eburnea* (Hymenoptera: Apidae) en el piedemonte llanero (Meta, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 37(1), 121–127.

Naves Da Silva, D. L., Zucchi, R., & Kerr, W. E. (1972). Biological and behavioural aspects of the reproduction in some species of *Melipona* (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). *Animal Behaviour*, 20(1), 123–132. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(72\)80182-9](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(72)80182-9)

Nunes-Silva, P., Hilário, S. D., Santos Filho, P. D. S., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2010). Foraging activity in *Plebeia remota*, a stingless bees species, is influenced by the reproductive state of a colony. *Psyche (London)*, 2010(i). <https://doi.org/10.1155/2010/241204>

Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

Paige, K. N. (1995). Bats and Barometric Pressure: Conserving Limited Energy and Tracking Insects from the Roost. *Functional Ecology*, 9(3), 463. <https://doi.org/10.2307/2390010>

- Pellegrino, A. C., Peñaflo, M. F. G. V., Nardi, C., Bezner-Kerr, W., Guglielmo, C. G., Bento, J. M. S., & McNeil, J. N. (2013). Weather Forecasting by Insects: Modified Sexual Behaviour in Response to Atmospheric Pressure Changes. *PLoS ONE*, 8(10), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075004>
- Pierrot, L. M., & Schlindwein, C. (2003). Variation in daily flight activity and foraging patterns in colonies of urucu - *Melipona scutellaris* Latreille (Apidae, Meliponini). *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(4), 565–571. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752003000400001>
- Robinson, G. E., Page, R. E., & Huang, Z. Y. (1994). Temporal polyethism in social insects is a developmental process. *Animal Behaviour*, 48(2), 467–469. <https://doi.org/10.1006/anbe.1994.1260>
- Roubik, D. W. (1993). Tropical pollinators in the canopy and understory: Field data and theory for stratum “preferences.” *Journal of Insect Behavior*, 6(6), 659–673. <https://doi.org/10.1007/BF01201668>
- Roubik, D. W., & Buchmann, S. L. (1984). Nectar selection by *Melipona* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) and the ecology of nectar intake by bee colonies in a tropical forest. *Oecologia*, 61(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/BF00379082>
- Sakagami, S. F. (1982) Stingless Bees. In *Social Insects*, v. 3 pp. 361–423.
- Saturni, F. T., Jaffé, R., & Metzger, J. P. (2016). Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 235, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.008>
- Sierra-Guerrero, M. C., & Amarillo-Suárez, A. R. (2017). Socioecological features of plant diversity in domestic gardens in the city of Bogotá Colombia. *Urban Forestry and Urban Greening*, 28(October), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.015>
- Sihag, R. C., & Abrol, D. P. (1986). Correlation and path-coefficient analysis of environmental factors influencing flight activity of *Apis florea* F. *Journal of Apicultural Research*, 25(4), 202–208. <https://doi.org/10.1080/00218839.1986.11100718>
- Silva, M., Ramalho, M., & Rosa, J. F. (2011). Por que *Melipona scutellaris* (Hymenoptera, Apidae) forrageia sob alta umidade relativa do ar? *Iheringia - Serie Zoologia*, 101(1–2), 131–137. <https://doi.org/10.1590/s0073-47212011000100019>

- Silveira, F. A., Melo, G. A. R., & Almeida, E. A. B. (2002). Abelhas brasileiras: sistemática e identificação.
- Sommeijer, M. J., Beuvens, F. T., & Verbeek, H. J. (1982). Distribution of labour among workers of *Melipona favosa* F: Construction and provisioning of brood cells. *Insectes Sociaux*, 29(2), 222–237. <https://doi.org/10.1007/BF02228754>
- Souza, B. A., Carvalho, C. A. L., & Alves, R. M. O. (2006). Flight activity of *Melipona asilvai* Moure (Hymenoptera: Apidae). *Brazilian Journal of Biology*, 66 (2B), 731–737. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842006000400017>
- Thompson, J. N. (2006). Mutualistic webs of species. *Science*, 312(5772), 372–373. <https://doi.org/10.1126/science.1126904>
- Van Benthem, F. D. J., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Velthuis, H. H. W. (1995). Biology of the stingless bee *Plebeia remota* (Holmberg): observations and evolutionary implications. *Insectes Sociaux*, 42(1), 71–87. <https://doi.org/10.1007/BF01245700>
- Vianna Teixeira, L., & de Nitto Melo Campos, F. (2005). Início da atividade de vôo em abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae): influência do tamanho da abelha e da temperatura ambiente. *Revista Brasileira de Zoociências*, 7(2), 195–202.
- Von B. Borges, F., & Blochtein, B. (2005). Atividades externas de *Melipona marginata* obscurior Moure (Hymenoptera, Apidae), em distintas épocas do ano, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(3), 680–686. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752005000300025>
- Wellington, W. G. (1946). The effects of variations in atmospheric pressure upon insects. *Canadian journal of research*, 24(2), 51-70.
- Willmer, P. G., & Corbet, S. A. (1981). Temporal and microclimatic partitioning of the floral resources of *Justicia aurea* amongst a concourse of pollen vectors and nectar robbers. *Oecologia*, 51(1), 67–78. <https://doi.org/10.1007/BF00344655>
- Wilson, E.O. (1971). *The Insect Societies*. In Harvard, Mass: Harvard University Press, Cambridge.
- Wilson, Edward O., & Hölldobler, B. (2005). Eusociality: Origin and consequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(38), 13367–13371. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0505858102>
- Wink, C., Guedes, J. V. C., Fagundes, C. K., & Rovedder, A. P. (2005). Insetos edáficos como

indicadores da qualidade ambiental. Revista de Ciências Agroveterinárias, 4(1), 60-71.
Retrieved from http://rca.cav.udesc.br/rca_2005_1/wink.pdf

ANEXOS

FIGURA 1. Diagrama de dispersão dos valores dos parâmetros climatológicos apresentados nas áreas de coleta. As cores nos pontos representam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. As caixas indicam a distribuição de 50% dos valores (entre os percentis 25% a 75%). (A) umidade relativa do ar, (B) temperatura, (C) luminosidade e (D) pressão barométrica.

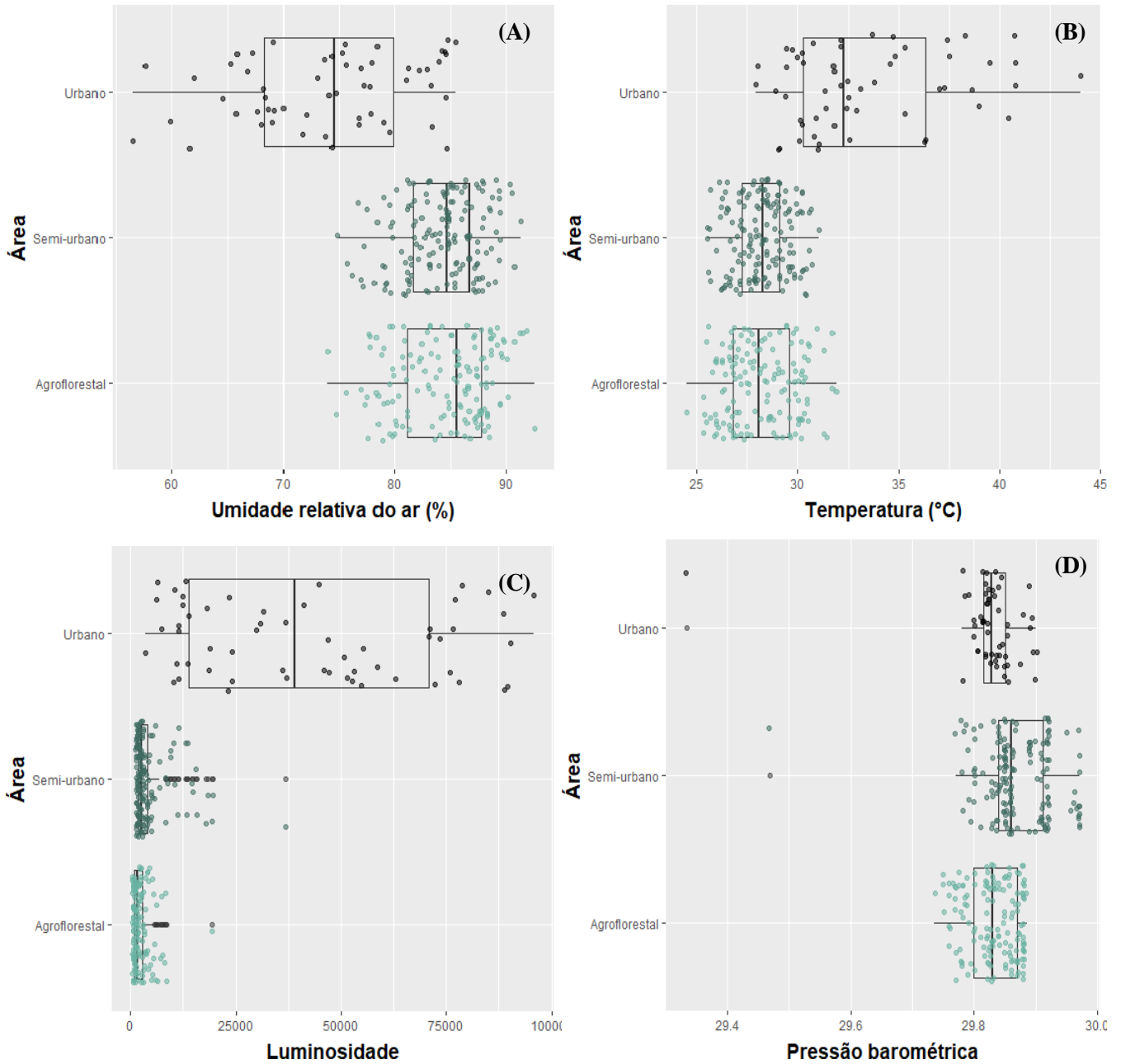


FIGURA 2. Diagrama de dispersão dos valores dos parâmetros climatológicos apresentados por faixa horária. As cores nos pontos representam as categorias de ambiente: agroflorestal, semi-urbano e urbano. As caixas indicam a distribuição de 50% dos valores (entre os percentis 25% a 75%). (A) umidade relativa do ar, (B) temperatura, (C) luminosidade e (D) pressão barométrica.

