

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 29/01/2027.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Biociências – Câmpus de Botucatu

Seção Técnica de Pós-Graduação



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL (INTERUNIDADES)

Efeito da paisagem urbana sobre o sucesso reprodutivo de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae)

Kaio Murilo Leite

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Interunidades entre o Instituto de Biociências do câmpus de Botucatu e Instituto de Biociências do câmpus de Rio Claro.

BOTUCATU – SP

2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Biociências – Câmpus de Botucatu

Seção Técnica de Pós-Graduação



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL (INTERUNIDADES)

Efeito da paisagem urbana sobre o sucesso reprodutivo de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae)

Kaio Murilo Leite

Prof^a Dr^a Elza Maria Guimarães Santos

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Interunidades entre o Instituto de Biociências do câmpus de Botucatu e Instituto de Biociências do câmpus de Rio Claro.

L533e Leite, Kaio Murilo
Efeito da paisagem urbana sobre o sucesso reprodutivo de
Handroanthus impetiginosus (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) /
Kaio Murilo Leite. -- Botucatu, 2025
42 p. : il., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Biociências, Botucatu
Orientadora: Elza Maria Guimarães Santos

1. arborização urbana. 2. floração em massa. 3. paisagem urbana. 4.
polinização por abelhas. 5. sucesso reprodutivo. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeito da paisagem urbana sobre o sucesso reprodutivo de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae)

AUTOR: KAIO MURILO LEITE

ORIENTADORA: ELZA MARIA GUIMARÃES SANTOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Biologia Vegetal, pela Comissão Examinadora:

Prof.^a Dr.^a ELZA MARIA GUIMARÃES SANTOS (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade e Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

Pós-doutoranda INGRID NAIARA GOMES (Participação Virtual)
Pontifícia Universidade Católica de Valparaíso

Prof. Dr. LEONARDO GALETTO (Participação Virtual)
Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal - Universidad Nacional de Córdoba

Botucatu, 29 de janeiro de 2025

Documento assinado digitalmente
 **FLÁVIA DANIELI MARTINS GODINHO**
Data: 31/01/2025 14:57:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

FLÁVIA DANIELI MARTINS GODINHO
Assistente Técnico Administrativo I da Seção Técnica de Pós-Graduação
Instituto de Biociências de Botucatu – UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado garantida a mim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Interunidades entre o Instituto de Biociências do campus de Botucatu e Instituto de Biociências do campus de Rio Claro, UNESP pelo suporte para a realização do mestrado.

À Profª Drª Elza Guimarães, não apenas pela orientação, mas também pela inspiração em como ser um profissional e por ampliar minha forma de enxergar a ciência.

Ao Prof Dr Milton Ribeiro pela orientação e supervisão das análises de métricas de paisagem neste trabalho. Sua disposição em me receber de portas abertas no seu laboratório e seu apoio foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

Ao Dr João Pena, pelo auxílio indispensável na metodologia de paisagem urbana implementada neste trabalho e pela dedicação em me auxiliar em todas as etapas do processo.

E à Maria Luisa Frigero, minha parceira do Laboratório de Ecologia e Evolução das Interações Planta-Animal, pela sua incansável ajuda durante a coleta de dados neste estudo e pelo suporte constante.

25 RESUMO

26 A urbanização é um processo complexo que transforma profundamente os ambientes naturais,
27 substituindo áreas verdes por superfícies impermeáveis como asfalto e prédios. Essas alterações
28 da paisagem natural comprometem grupos ecológicos cruciais, especialmente os polinizadores.
29 Dentre estes, as abelhas são responsáveis pela polinização de 87% das angiospermas,
30 desempenhando um papel fundamental na manutenção da biodiversidade e na produção de
31 alimentos. A perda e fragmentação de habitats causadas pela urbanização reduzem
32 significativamente os recursos disponíveis para esses polinizadores, gerando potencial impacto
33 negativos na reprodução de plantas pela diminuição da presença de polinizadores na paisagem
34 urbana. Pensando nisso, utilizamos *Handroanthus impetiginosus* (Bignoniaceae), como espécie
35 modelo, para compreender como a intensificação urbana e o anúncio floral influenciam a
36 interação plantas-polinizador, analisando o sucesso reprodutivo, a assembleia de abelhas e a
37 frequência de visitas. A metodologia do estudo envolveu a estimativa de Kernel para avaliar a
38 densidade de indivíduos florescendo e o desenvolvimento do Índice de Adequabilidade para
39 Biodiversidade Urbana (IABU), que integra variáveis urbanas como temperatura, densidade
40 populacional e uso do solo. Contrariando nossas expectativas iniciais, não foram observadas
41 diferenças significativas na frutificação ou na frequência de visitas às flores por abelhas entre
42 áreas mais ou menos urbanizadas e entre áreas com maior ou menor densidade de indivíduos
43 florescendo. Isso sugere que as interações planta-polinizador em *H. impetiginosus* são mantidas
44 de forma homogênea ao longo da paisagem urbana e periurbana. A floração massiva dessa
45 espécie pode ter atuado como um fator de equilíbrio, criando "oásis" de recursos que atraem
46 polinizadores de maneira uniforme, independentemente do nível de urbanização ou da
47 densidade de árvores em floração. O manejo urbano surge como elemento crucial para a
48 conservação das interações planta-polinizador. Estratégias que promovam a diversidade de
49 espécies nativas com períodos complementares de floração podem garantir recursos contínuos,
50 criar corredores ecológicos e sustentar as comunidades de polinizadores ao longo do tempo.
51 Essas práticas são especialmente relevantes em cidades menores, que, embora não tenham se
52 destacado como refúgios em nosso estudo, podem desempenhar um papel importante na
53 manutenção da biodiversidade urbana.

54

55

56 Palavras-chave: arborização urbana, floração em massa, paisagem urbana, polinização por
57 abelhas, sucesso reprodutivo.

58

Abstract

Urbanization is a complex process that profoundly transforms natural environments, replacing green areas with impermeable surfaces such as asphalt and buildings. These alterations to the natural landscape compromise crucial ecological groups, particularly pollinators. Among these, bees are responsible for pollinating 87% of angiosperms, playing a fundamental role in maintaining biodiversity and food production. The loss and fragmentation of habitats caused by urbanization significantly reduce the resources available to these pollinators, potentially generating negative impacts on plant reproduction due to the decreased presence of pollinators in urban landscapes. With this in mind, we used *Handroanthus impetiginosus* (Bignoniaceae) as a model species to understand how urban intensification and floral display influence plant-pollinator interactions, analyzing reproductive success, bee assemblages, and visitation frequency. The study methodology involved Kernel estimation to assess the density of flowering individuals and the development of the Urban Biodiversity Suitability Index (UBSI), which integrates urban variables such as temperature, population density, and land use. Contrary to our initial expectations, no significant differences were observed in fruiting or the frequency of bee visits to flowers between more or less urbanized areas and between areas with higher or lower densities of flowering individuals. This suggests that plant-pollinator interactions in *H. impetiginosus* are maintained homogeneously across urban and peri-urban landscapes. The massive flowering of this species may have acted as a balancing factor, creating "oases" of resources that attract pollinators uniformly, regardless of the level of urbanization or the density of flowering trees. Urban management emerges as a crucial element for the conservation of plant-pollinator interactions. Strategies that promote the diversity of native species with complementary flowering periods can ensure continuous resources, create ecological corridors, and sustain pollinator communities over time. These practices are especially relevant in smaller cities, which, although they did not stand out as refuges in our study, may play an important role in maintaining urban biodiversity.

Keywords: bee pollination, mass flowering, reproductive success, urban afforestation, urban landscape.

Sumário

RESUMO.....	5
Abstract	6
INTRODUÇÃO.....	7
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
RESULTADOS.....	22
DISCUSSÃO.....	28
CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

CONCLUSÃO

Nossos resultados indicam que a interação entre intensificação urbana (IABU) e densidade de indivíduos florescendo (IDIFS) não influenciou significativamente a abundância e riqueza de morfotipos de abelhas, a frequência de visitas ou a formação de frutos em *Androanthus impetiginosus*. Isso sugere que as interações planta-polinizador são mantidas de forma homogênea ao longo da paisagem urbana, independentemente do nível de urbanização ou da densidade de árvores de ipê em floração. A heterogeneidade da paisagem, com áreas verdes urbanas e remanescentes de vegetação nativa, pode estar fornecendo recursos e habitats adequados para a manutenção das abelhas, garantindo a movimentação eficiente dos polinizadores e a transferência de pólen entre plantas. A floração massiva de *H. impetiginosus* pode atuar como um fator de equilíbrio, atraindo polinizadores de forma uniforme em todas as áreas. A ausência de diferenças nas frequências de visitas para quaisquer grupos de abelhas reforça a ideia de uma presença uniforme desses polinizadores.

Cidades pequenas, com baixa densidade populacional e cercadas por vegetação nativa, podem desempenhar um papel importante na manutenção de abelhas polinizadores, contrastando com os efeitos negativos associados às práticas agrícolas intensivas, como a redução da diversidade floral e o uso de agroquímicos (Freitas *et al.*, 2009; Tavares-Brancher *et al.*, 2023). Para ampliar esse papel, é fundamental desenvolver estratégias que aumentem a diversidade de recursos florais nas áreas verdes urbanas, incluindo espécies nativas com períodos complementares de floração. Estratégias de manejo urbano que promovam a conectividade e a diversidade de recursos são essenciais para sustentar as interações planta-polinizador e a biodiversidade urbana como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, C. M. L., & Garófalo, C. A. (2003). Nesting biology of *Centris* (Hemisiella) *tarsata* Smith (Hymenoptera, Apidae, Centridini). *Revista Brasileira de Zoologia*, 21, 477–486.
- Aizen, M. A., Ashworth, L., & Galetto, L. (2002). Reproductive success in fragmented habitats: Do compatibility systems and pollination specialization matter? *J. Veg. Sci.*, 13, 885–892.

789 Araujo, A. C., Souza, C. S., Nakamura, V. A., Rodrigues, L. C., & Traveset, A. (2024). Floral
 790 abundance and corolla length predict the importance of species in connecting urban green
 791 areas. *Landscape and Urban Planning*, 248, 105108.

792 Ayers, A. C., & Rehan, S. M. (2021). Supporting Bees in Cities: How Bees Are Influenced by
 793 Local and Landscape Features. *Insects*, 12, 128.

794 Baldock, K. C. R., Goddard, M. A., Hicks, D. M., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Osgathorpe, L.
 795 M., Potts, S. G., Robertson, K. M., Scott, A. V., Stone, G. N., Vaughan, I. P., & Memmott,
 796 J. (2015). Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for
 797 flower-visiting insects. *Proceedings of the Royal Society B*, 282, 20142849.

798 Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models
 799 using lme4.

800 Bhakti, T., Pena, J. C., Moura, A. C. M., Pujoni, D., Saliba, L., & Rodrigues, M. (2023). Urban
 801 biodiversity suitability index: decoding the relationships between cities and birds. *Urban*
 802 *Ecosyst.*, 27, 305–319.

803 Bittencourt Jr, N. S., & Moraes, I. G. (2010). Self-fertility and polyembryony in South American
 804 Yellow Trumpet Trees (*Handroanthus chrysotrichus* and *H. ochraceus*, Bignoniaceae), a
 805 histological study of post-pollination events. *Plant Systematics and Evolution*, 288(1-2), 59-
 806 76.

807 Bittencourt Junior, N. S. (2017). Evidence for post-zygotic self-incompatibility in *Handroanthus*
 808 *impetiginosus* (Bignoniaceae). *Plant Reproduction*, 30(2), 69–79.

809 Buchholz, S., & Egerer, M. H. (2020). Functional ecology of wild bees in cities: towards a better
 810 understanding of trait-urbanization relationships. *Biodiversity and Conservation*, 29(9),
 811 2779-2801.

812 Cao, J., Zhou, W., Zheng, Z., Ren, T., & Wang, W. (2021). Within-city spatial and temporal
 813 heterogeneity of air temperature and its relationship with land surface temperature.
 814 *Landscape and Urban Planning*, 206, 103979.

815 Cohen, H., Philpott, S. M., Liere, H., Lin, B. B., & Jha, S. (2021). The relationship between
 816 pollinator community and pollination services is mediated by floral abundance in urban
 817 landscapes. *Urban Ecosystems*, 24(2), 275-290.

818 Desaegher, J., Nadot, S., Machon, N., & Colas, B. (2019). How does urbanization affect the
 819 reproductive characteristics and ecological affinities of street plant communities? *Ecology*
 820 *and Evolution*, 9, 9977–9989.

821 Dicks, L. V., Viana, B., Bommarco, R., Brosi, B., Arizmendi, M. del C., Cunningham, S. A.,
 822 Galetto, L., Hill, R., Lopes, A. V., Pires, C., Taki, H., & Potts, S. G. (2016). Ten policies for
 823 pollinators. *Science*, 354(6315), 975–976.

- 824 Dylewski, Ł., Maćkowiak, Ł., Banaszak-Cibicka, W. (2019). Are All Urban Green Spaces a
825 Favourable Habitat for Pollinator Communities? Bees, Butterflies and Hoverflies in
826 Different Urban Green Areas. *Ecological Entomology*, 44, 678–689.
- 827 Faegri, K., & van der Pijl, L. (1979). *The principles of pollination ecology*, 3rd ed. Oxford:
828 Pergamon Press, 244 pp.
- 829 Ferreira, B. H. S., Freitas, T. G., Arakaki, L. M. M., Covre, W. S., Damasceno-Junior, G. A.,
830 Galetto, L., & Sigrist, M. R. (2024). Vegetative and reproductive phenology in seasonal
831 climate vegetation: Phenological complementarity between woody and herbaceous plants in
832 the Brazilian Chaco. *Flora*, 316, 152520.
- 833 Fournier, L. A. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas
834 em árvores. *Turrialba*, 24, 422–423.
- 835 Franco, J. R., Dal Pai, E., Contes Calça, M. V., Raniero, M. R., Dal Pai, A., Sarnighausen, V. C.
836 R., & Sánchez-Román, R. M. (2023). Atualização da normal climatológica e classificação
837 climática de Köppen para o município de Botucatu-SP. *Irriga*, 28(1), 77–92.
- 838 Freitas, B. M., Imperatriz-Fonseca, V. L., Medina, L. M., Kleinert, A. de M. P., Galetto, L.,
839 Nates-Parra, G., & Quezada-Euán, J. J. G. (2009). Diversity, threats and conservation of
840 native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40, 332–346.
- 841 Gentry, A. H. (1974). Flowering phenology and diversity in tropical Bignoniaceae. *Biotropica*,
842 6(1), 64-68.
- 843 Gentry, A. H. (1990). Evolutionary patterns in Neotropical Bignoniaceae. *Memoirs of the New*
844 *York Botanical Garden*, 55, 118-129.
- 845 Gentry, A. H. (1992). Bignoniaceae: Part II (Tribe Tecomeae). *Flora Neotropica Monographs*,
846 25(2).
- 847 Geslin, B., Gauzens, B., Thébault, E., & Dajoz, I. (2013). Plant-pollinator networks along a
848 gradient of urbanization. *PLoS ONE*, 8, e63421.
- 849 Geslin, B., Le Féon, V., Folschweiller, M., Flacher, F., Carmignac, D., Motard, E., Perret, S., &
850 Dajoz, I. (2016). The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild
851 bee assemblages in a densely populated region. *Ecology and Evolution*, 6, 6599–6615.
- 852 Gilpin, A. M., O'Brien, C., Kobel, C., Brettell, L. E., Cook, J. M., & Power, S. A. (2022). Co-
853 flowering plants support diverse pollinator populations and facilitate pollinator visitation to
854 sweet cherry crops. *Basic and Applied Ecology*, 63, 36-48.
- 855 Gomes, I. N., Bosenbecker, C., Silva, V. H. D., Cardoso, J. C. F., Pena, J. C., & Maruyama, P.
856 K. (2023). Spatiotemporal availability of pollinator attractive trees in a tropical streetscape:
857 Unequal distribution for pollinators and people. *Urban For. Urban Green*, 83, Article
858 127900.

859 Gonçalves, L. M., Monteiro, P. H. D. S., dos Santos, L. S., Maia, N. J. C., & Rosal, L. F. (2018).
860 Arborização Urbana: a Importância do seu Planejamento Para Qualidade de Vida nas
861 Cidades. Ensaios e Ciência: C. Biológicas, Agrárias e da Saúde, vol. 22, no. 2, Editora e
862 Distribuidora Educacional, p. 128-136.

863 Goulson, D. (2000). Why do pollinators visit proportionally fewer flowers in large patches?
864 Oikos, 91, 485-492.

865 Graf, L. V., Meyer, F. S., Jeronimo, F. F., *et al.* (2025). Urbanization as a driver of changes in
866 mutualistic networks between bees and plants. Urban Ecosyst, 28, 1–9.

867 Hall, D. M., Camilo, G. R., Tonietto, R. K., Ollerton, J., Ahrné, K., Arduser, M., Ascher, J. S.,
868 Baldock, K. C. R., Fowler, R., Frankie, G., Goulson, D., Gunnarsson, B., Hanley, M. E.,
869 Jackson, J. I., Langellotto, G., Lowenstein, D., Minor, E. S., Philpott, S. M., Potts, S. G.,
870 Sirohi, M. H., Spevak, E. M., Stone, G. N., & Threlfall, C. G. (2017). The city as a refuge
871 for insect pollinators. Conservation Biology, 31(1), 24-29.

872 Hamblin, A. L., Youngsteadt, E., López-Urbe, M. M., & Frank, S. D. (2017). Physiological
873 thermal limits predict differential responses of bees to urban heat-island effects. Biology
874 Letters, 13, 20170125.

875 Harrison, T., & Winfree, R. (2015). Urban drivers of plant-pollinator interactions. Functional
876 Ecology, 29, 879-888.

877 Horto Botânico, Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2024). *Eulaema*
878 *nigrita*. Recuperado de
879 <https://museunacional.ufrj.br/hortobotanico/abelhas/eulaemanigrita.html>.

880 Horto Botânico, Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2024). *Euglossa*
881 *sp.* Recuperado de <https://www.museunacional.ufrj.br/hortobotanico/abelhas/euglossa.html>

882 Hothorn, T., Zeileis, A., Farebrother, R. W., Cummins, C., Millo, G., Mitchell, D., & Zeileis, M.
883 A. (2019). Package ‘lmtree’.

884 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2012). Manual técnico da vegetação
885 brasileira. 2ª ed. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de
886 Janeiro. 276p.

887 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019). Diretoria de Geociências,
888 Coordenação de Meio Ambiente, Áreas Urbanizadas do Brasil.

889 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). Diretoria de Pesquisas.
890 Coordenação de População e Indicadores Sociais. Estudos e Pesquisas. Informação
891 Demográfica e Socioeconômica. Síntese de Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE.

892 IPBES. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and
893 ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and

894 Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A.
895 Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi,
896 K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A.
897 Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J.
898 Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
899 56 pages.

900 Janzen, D. H. (1971). Euglossine bees as long-distance pollinators of tropical plants. *Science*,
901 171, 203-205.

902 Jorge, L. A. B., Arruda, A. A., & Benedito, J. A. (2018). Árvores de um ecótono entre floresta
903 estacional semidecidual e savana florestada: guia de identificação. São Carlos: Editora Cubo.

904 Kaluza, B. F., Wallace, H., Heard, T. A., Klein, A.-M., & Leonhardt, S. D. (2016). Urban gardens
905 promote bee foraging over natural habitats and plantations. *Ecology and Evolution*, 6, 1304–
906 1316.

907 Kassambara A (2023). ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. R package version 0.6.0,
908 <https://rpkgs.datanovia.com/ggpubr/>.

909 Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen,
910 C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world
911 crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 274, 303-313.

912 Kłysik, K., & Fortuniak, K. (1999). Temporal and spatial characteristics of the urban heat island
913 of Lodz, Poland. *Atmospheric Environment*, 33, 3885-3895.

914 Knapp, S., Kühn, I., Schweiger, O., & Klotz, S. (2008). Challenging urban species diversity:
915 Contrasting phylogenetic patterns across plant functional groups in Germany. *Ecology*
916 *Letters*, 11, 1054–1064.

917 Kühn, I., Brandl, R., & Klotz, S. (2004). The flora of German cities is naturally species rich.
918 *Evolutionary Ecology Research*, 6, 749–764.

919 Le Féon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R.,
920 Hendrickx, F., & Burel, F. (2010). Intensification of agriculture, landscape composition and
921 wild bee communities: A large scale study in four European countries. *Agriculture,*
922 *Ecosystems & Environment*, 137, 143–150.

923 Lepczyk, C. A., Aronson, M. F. J., Evans, K. L., Goddard, M. K., Lerman, S. B., & MacIvor, J.
924 S. (2017). Biodiversity in the city: Fundamental questions for understanding the ecology of
925 urban green spaces for biodiversity conservation. *BioScience*, 67, 799-807.

926 López-Urbe, M. M., Oi, C. A., & Del Lama, M. A. (2008). Nectar-foraging behavior of
927 euglossine bees (Hymenoptera: Apidae) in urban areas. *Apidologie*, 39, 410–418.

- 928 Lorenzi, H. (2008). Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas
929 nativas do Brasil, vol. 1. Nova Odessa: Plantarum, 352 p.
- 930 Lozano, E. C., & Zapater, M. A. (2008). Delimitación y Estatus de *Handroanthus heptaphyllus*
931 y *H. impetiginosus* (Bignoniaceae, Tecomeae). Darwiniana, nueva serie, 46(2), 304-317.
- 932 Luck, G. W. (2007). A review of the relationships between human population density and
933 biodiversity. Biological Reviews, 82, 607–645.
- 934 Lund, U., Agostinelli, C., Arai, H., Gagliardi, A., Portugues, E. G., Giunchi, D., Irisson, J. O.,
935 Pocernich, M., & Rotolo, F. (2017). Package circular.
936 <http://mirrors.ucr.ac.cr/CRAN/web/packages/circular>
- 937 Maruyama, P. K., Bonizário, C., Marcon, A. P., D'Angelo, G., da Silva, M. M., da Silva Neto,
938 E. N., Oliveira, P. E., Sazima, I., Sazima, M., Vizentin-Bugoni, J., dos Anjos, L., Rui, A. M.,
939 Marçal Júnior, O. (2019). Plant-hummingbird interaction networks in urban areas:
940 generalization and the importance of trees with specialized flowers as a nectar resource for
941 pollinator conservation. Biological Conservation, 230, 187-194.
- 942 Maruyama, P. K., Silva, J. L. S., Gomes, I. N., Bosenbecker, C., Cruz-Neto, O., Oliveira, W.,
943 Cardoso, J. C. F., Stewart, A. B., & Lopes, A. V. (2021). A global review of urban pollinators
944 and implications for maintaining pollination services in tropical cities. In: F. Angeoletto, P.
945 Tryjanowski, & M. Fellowes (Eds.), Ecology of tropical cities: natural and social sciences
946 applied to the conservation of urban biodiversity. Berlin: Springer Nature.
- 947 McKinney, M. L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. Biological
948 Conservation, 127, 247–260.
- 949 McKinney, M. L. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and
950 animals. Urban Ecosystems, 11, 161-176.
- 951 Milet-Pinheiro, P., Carvalho, A. T., Kevan, P. G., & Schlindwein, C. (2009). Permanent stigma
952 closure in Bignoniaceae: Mechanism and implications for fruit set in self-incompatible
953 species. Flora, 204, 82-88.
- 954 Moura, A. C. M., & Jankowski, P. (2014). Contribuições aos estudos de análises de incertezas
955 como complementação às análises multicritérios - "Sensitivity analysis to suitability
956 evaluation". Anais XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 1–20.
- 957 Ohashi, K., & Yahara, T. (1998). Effects of variation in flower number on pollinator visits in
958 *Cirsium purpuratum* (Asteraceae). American Journal of Botany, 85(2), 219-224.
- 959 Oliveira, M. O. (2015). O declínio do tamanho corporal de abelhas de grande porte: iniciativas
960 de criatório racional para a conservação da espécie nativa *Bombus* (*Thoracobombus*)
961 *brevivillus*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará, Ceará, Brasil, 111 p

962 Oliveira, W., Silva, J. L. S., Oliveira, M. T. P., Cruz-Neto, O., Silva, L. A. P., Borges, L. A.,
 963 Sobrinho, M. S., & Lopes, A. V. (2019). Reduced reproductive success of the endangered
 964 tree brazilwood (*Paubrasilia echinata*, Leguminosae) in urban ecosystem compared to
 965 Atlantic forest remnant: Lessons for tropical urban ecology. *Urban Forestry & Urban*
 966 *Greening*, 41, 303–312.

967 Ollerton, J. (2021). *Pollinators and Pollination: Nature and Society*. Pelagic Publishing Limited,
 968 Exeter.

969 Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by
 970 animals? *Oikos*, 120, 321-326.

971 Parastatidis, D., Mitraka, Z., Chrysoulakis, N., & Abrams, M. (2017). Online global land surface
 972 temperature estimation from Landsat. *Remote Sens.*, 9, 1208.

973 Pinto, C. E., Oliveira, R., & Schlindwein, C. (2008). Do consecutive flower visits within a crown
 974 diminish fruit set in mass flowering *Hancornia speciosa* (Apocynaceae)? *Plant Biology*,
 975 10(3), 408-412.

976 Polidori, C., Ferrari, A., Ronchetti, F., Tommasi, N., & Nalini, E. (2023). Warming up through
 977 buildings and roads: What we know and should know about the urban heat island effect on
 978 bees. *Front. Bee Sci.*, 1, 1269600.

979 Popic, T. J., Davila, Y. C., & Wardle, G. M. (2013). Evaluation of common methods for sampling
 980 invertebrate pollinator assemblages: Net sampling out-performs pan traps. *PLoS ONE*, 8,
 981 e66665.

982 Potts, S. G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G., & Willmer, P. (2003). Linking bees and
 983 flowers: How do floral communities structure pollinator communities? *Ecology*, 84, 2628-
 984 2642.

985 QGIS Development Team (2024). QGIS Geographic information system. Open-Source
 986 Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

987 R Core Team (2024) R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R
 988 Foundation for Statistical Computing.

989 Rega-Brodsky, C., *et al.* (2022). Urban biodiversity: State of the science and future directions.
 990 *Urban Ecosystems*, 25, 1096.

991 Ripley, B., Venables, B., Bates, D. M., Hornik, K., Gebhardt, A., & Firth, D. (2002). Package
 992 “MASS.” Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=MASS>

993 Roubik, D. W., & Hanson, P. E. (2004). *Orchid bees: biology and field guide*. San José, CA:
 994 INBIO.

995 Schlindwein, C., Westerkamp, C., Carvalho, A. T., & Milet-Pinheiro, P. (2014). Visual signalling
 996 of nectar-offering flowers and specific morphological traits favour robust bee pollinators in

997 the mass-flowering tree *Handroanthus impetiginosus* (Bignoniaceae). Botanical Journal of
 998 the Linnean Society, 176, 396–407.

999 Silva, J. L. S., de Oliveira, M. T. P., Cruz-Neto, O., *et al.* (2021). Plant–pollinator interactions in
 1000 urban ecosystems worldwide: A comprehensive review including research funding and
 1001 policy actions. *Ambio*, 50, 884–900.

1002 Silva, V. H. D., Gomes, I. N., Cardoso, J. C. F., Bosenbecker, C., Silva, J. L. S., Cruz-Neto, O.,
 1003 Oliveira, W., Stewart, A. B., Lopes, A. V., Maruyama, P. K. (2023). Diverse urban
 1004 pollinators and where to find them. *Biological Conservation*, 281, 110036. ISSN 0006-3207.

1005 Somme, L., Moquet, L., Quinet, M., *et al.* (2016). Food in a row: Urban trees offer valuable floral
 1006 resources to pollinating insects. *Urban Ecosyst*, 19, 1149–1161.

1007 Tang, Y., Horikoshi, M., & Li, W. (2016). ggfortify: Unified interface to visualize statistical
 1008 result of popular R packages. *The R Journal*, 8, 474–485. [https://CRAN.R-](https://CRAN.R-project.org/package=ggfortify)
 1009 [project.org/package=ggfortify](https://CRAN.R-project.org/package=ggfortify)

1010 Tavares-Brancher, K. P., Graf, L. V., Ferreira-Júnior, W. G., Faria, L. D. B., & Zenni, R. D.
 1011 (2024). Plant-pollinator interactions in the neotropics are affected by urbanization and the
 1012 invasive bee *Apis mellifera*. *Journal of Insect Conservation*, 28(2), 251–261

1013 Tavares-Brancher, K. P., Graf, L. V., Heringer, G., & Zenni, R. D. (2023). Urbanization and
 1014 abundance of floral resources affect bee communities in medium-sized neotropical cities.
 1015 *Austral Ecol*, 49(1), e13299.

1016 Udy, K. L., Reininghaus, H., Scherber, C., & Tschardtke, T. (2020). Plant–pollinator interactions
 1017 along an urbanization gradient from cities and villages to farmland landscapes. *Ecosphere*,
 1018 11(2), e03020.

1019 Ulyshen, M., Urban-Mead, K. R., Dorey, J. B., & Rivers, J. W. (2023). Forests are critically
 1020 important to global pollinator diversity and enhance pollination in adjacent crops. *Biol. Rev.*,
 1021 98, 1118–1141.

1022 Wenzel, A., Grass, I., Belavadi, V. V., & Tschardtke, T. (2020). How urbanization is driving
 1023 pollinator diversity and pollination—A systematic review. *Biol. Conserv.*, 241, 108321.

1024 Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T., Potts, S. G.,
 1025 Roberts, S. P. M., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Vaissière, B. E., Woyciechowski, M.,
 1026 Biesmeijer, J. C., Kunin, W. E., Settele, J., & Steffan-Dewenter, I. (2008). Measuring bee
 1027 diversity in different European habitats and biogeographical regions. *Ecological*
 1028 *Monographs*, 78, 653–671.

1029 Wickham H, Vaughan D, Girlich M (2024). tidyr: Tidy Messy Data. R package version 1.3.1,
 1030 <https://github.com/tidyverse/tidyr>, <https://tidyr.tidyverse.org>.

1031 Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York.

- 1032 Wickham, H., François, R., Henry, L., & Müller, K. (2021). dplyr: A grammar of data
1033 manipulation. <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>
- 1034 Wilmer, P. (2011). Pollination and floral ecology. Princeton University Press.
- 1035 Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions.
1036 Landscape and Urban Planning, 125, 209-221.